

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**

**E.A.P. DE QUÍMICA**

**Desarrollo a nivel de laboratorio de un fertilizante  
soluble de aplicación foliar con NPK 40-220-40 g/L y  
micronutrientes quelatados**

**TESIS**

**para optar el Título Profesional de Químico**

**AUTOR**

**Yvonne Melissa Calderón Clemente**

**ASESOR**

**Raúl Curihuamán Lovatón**

**Lima – Perú**

**2005**



..	1
I. RESUMEN ..	3
II. INTRODUCCIÓN .	5
III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS ..	7
3.1 QUÍMICA AGRÍCOLA .	7
3.2 FERTILIZACIÓN ..	10
3.2.1 DEFINICIÓN ..	10
3.2.2. NUTRIENTES .	10
3.2.3. FERTILIZACIÓN EN EL SUELO .	10
3.2.4. FERTILIZACIÓN FOLIAR ..	11
3.2.5. FACTORES INFLUYENTES EN LA ABSORCIÓN DE LOS DE LOS NUTRIENTES .	11
3.3 TIPOS DE NUTRIENTES .	15
3.3.1 MACRONUTRIENTES ..	16
3.3.2 MICRONUTRIENTES ..	30
3.4 FORMULACIONES COMERCIALES ..	42
3.4.1 FERTILIZANTES MINERALES CONVENCIONALES ..	42
3.4.2 FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA .	43
3.4.3 FERTILIZANTES ORGANOMINERALES .	43
3.4.4 FERTILIZANTES FOLIARES ..	43
3.4.5 CORRECTORES DE CARENCIAS .	43
3.4.6 FORMULACIONES SELECTIVAS .	43
IV. PARTE EXPERIMENTAL ..	45
4.1. Diseño del Formulado Foliar ..	45
4.1.1. Composición .	45
4.1.2. Asimilación en la planta .	46
4.2. Obtención Del Formulado Foliar .	46

4.2.1 Obtención De Los Macronutrientes .	46
4.2.2. Obtención de los Micronutrientes .	47
4.2.3. Formulación del Producto .	48
4.3. Evaluación de las propiedades físicas .	48
4.4. Evaluación de la estabilidad . .	48
4.5. Pruebas de Campo . .	49
<b>V. RESULTADOS EXPERIMENTALES .</b>	<b>51</b>
5.1. Propiedades .	51
5.1.1. Composición: . .	51
5.1.2. Propiedades Físicas: . .	52
5.1.3. Propiedades de Estabilidad .	52
5.2. Evaluación estadística de los resultados .	53
5.2.1. Variación del pH . .	53
5.2.2. Variación de la Densidad .	53
5.3. Pruebas de campo . .	55
5.4. Balance Estequiométrico .	56
5.4.1 Para los macronutrientes . .	56
5.4.2 Para los Micronutrientes .	56
5.5 Fórmula empírica de los Macronutrientes .	72
<b>VI. EJEMPLOS DE CÁLCULO .</b>	<b>73</b>
6.1. Cálculo de la cantidad de insumos a utilizar para la fabricación de 1 litro de fertilizante. . .	73
6.1.1 Para el Nitrógeno .	73
6.1.2 Para el Fósforo .	74
6.1.3 Para el Potasio: . .	75
6.1.4 Para el Magnesio .	75
6.1.5 Para el Hierro .	75
6.1.6 Para el Cobre . .	76
6.1.7 Para el Manganeseo . .	76



6.1.8 Para el Zinc .	76
6.2. Cálculo del número de moles en el equilibrio para los nutrientes .	77
6.3 Formula empírica de los macronutrientes .	77
6.3.1 Determinación de los moles del ion amonio .	77
6.3.2 Determinación de los moles del ion fosfato .	78
6.3.3 Determinación de los moles del ion potasio .	78
VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .	79
7.1. Macronutrientes . .	79
7.2 Micronutrientes . .	81
7.3 Evaluación de las propiedades físicas .	82
7.4 Evaluación de la estabilidad .	83
7.5 Pruebas de campo .	83
CONCLUSIONES . .	85
RECOMENDACIONES .	87
BIBLIOGRAFÍA .	89
ANEXOS .	91



---

*Dedicatoria    A Dios, a mi familia: Leonor, Juan, Edwin y Alfredo, porque a su manera cada uno contribuye en la realización de mis metas; al Qco. Raúl Curihuamán por su gran apoyo y a todos mis amigos.*



## I. RESUMEN

El trabajo consiste en desarrollar a nivel de laboratorio un fertilizante foliar formulado de acuerdo a las recomendaciones de los agrónomos para emplearse en diferentes cultivos y zonas del país.

Inicialmente, se explica las características de cada uno de los componentes de un fertilizante foliar, la manera como se desenvuelven los nutrientes principales en las plantas y en el suelo, y la importancia de introducir micro nutrientes.

También se explica las razones de un formulado foliar rico en fósforo y en que casos debería ser aplicado en las plantas, así como la función de cada componente del fertilizante y los efectos que ocasiona su presencia o ausencia.

La parte experimental detalla el proceso completo del producto elaborado en el laboratorio. Primero, se indica la composición de los nutrientes principales NPK de los micronutrientes quelatados, luego se han evaluado sus propiedades físicas (pH, densidad y solubilidad en agua) y las propiedades de uso en el campo, como la estabilidad, factor importante para su comercialización en todas las regiones del país. Adicionalmente se muestran fotografías de cambios producidos en algunas plantas en las que se probó la eficiencia del fertilizante.

Para la formulación del fertilizante se utilizó insumos fácilmente accesibles desde el punto de vista económico, el cual permitirá su uso masivo.



## II. INTRODUCCIÓN

Formular un fertilizante foliar basado en la teoría sobre la fertilización agrícola es un amplio tema técnico. Para una mejor comprensión sobre el tema, se efectuará una descripción detallada secuencialmente.

En el desarrollo de la teoría de la fertilización los científicos involucrados convirtieron en ciencia este tema, en base a múltiples experimentos. Con el correr de los años, dio lugar a la química agrícola, tratado de la fertilización y sustento de la formulación de agroquímicos, en el que se sustenta este trabajo.

El producto formulado ha sido desarrollado tomando en cuenta las recomendaciones de los técnicos del agro y considerando factores importantes como la estabilidad climática del producto en diferentes zonas del país. La problemática de desarrollo agrícola en nuestro país se debe a que las empresas agrícolas se dedican sólo a importar productos y reenvasarlos. Existen pocas empresas que formulan sus propios productos.

Al formular a nivel de laboratorio este fertilizante foliar, se pensó que servirá como base para que se continúen efectuando estudios de elaboración de fertilizantes foliares con otras propiedades, por lo cual, esta tesis será un aporte importante en este tipo de estudios.





## III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 3.1 QUÍMICA AGRÍCOLA

Desde tiempos remotos, se mostró un gran interés por los fenómenos ocurridos a nivel de las plantas y la obtención de cosechas, este interés se vio plasmado recién en literatura desde la época de los romanos basados en algunos clásicos griegos.

Crescenterius en un libro titulado *Opus Ruralium comodorum*, recopiló toda la teoría existente, este texto muy popular en su tiempo constituyó el punto de partida para la serie de publicaciones que aparecieron en Europa durante los siglos XV y principios del XVII.

B. Palissy (1563) manifestaba que en las cenizas de las plantas se encontraban los materiales que estas extraían del suelo.

F. Bacon (1561-1624) considera que el principal alimento de las plantas era el agua, y que la principal función del suelo era la de mantener las plantas erguidas y protegerlas del frío y del calor.

Otro científico de la época J.B Van Helmont (1577-1644), físico y químico flamenco, de acuerdo con las ideas de Bacon realiza una experiencia que según el demostraba que el agua era el principio de la vegetación.

Este mismo experimento fue desarrollado por otro científico, el inglés R. Boyle

(1627-1691), y como resultado de los análisis químicos realizados llegó a la conclusión, que las plantas contenían sales, energía, tierra y aceite, que todos estos productos podían proceder del agua <sup>(3)</sup>.

(3): Capítulo X: Bibliografía (En adelante cuando se observe la notación (número), se referirá al número de ítem del capítulo X)

J.R Glauber (1604-1668), un químico alemán, sostiene la hipótesis de que el nitrato potásico y no el agua, era el principio de la vegetación y que la fertilidad del suelo y el valor del estiércol dependían totalmente del nitrato potásico.

En 1699, J. Woodward, basándose en lo anteriormente realizado por Van Helmont y Boyle, comprobó que el crecimiento de las plantas aumentaba al incrementarse las cantidades de impurezas contenidas en el agua y de ello dedujo que los vegetales no se forman a partir del agua, sino que lo hacen a partir de los materiales sólidos presentes en el suelo.

El inglés J. Tull (1674-1741), creía que el verdadero alimento de las plantas constituían las partículas más finas del suelo, las cuales eran absorbidas directamente por las raíces y después pasaban al sistema circulatorio.

En 1775, la Edimburg Society de Inglaterra encargó al Químico F. Home determinar hasta que punto podría la Química llegar a establecer los fundamentos de la Agricultura. Home orientó sus investigaciones hacia la nutrición de las plantas, llegando finalmente a la conclusión de que existían por lo menos seis materias nutritivas para ellas: aire, agua, tierra, sales, aceite y fuego, en un estado fijo <sup>(3)</sup>.

En 1761, J. G. Wallerius, presentó su libro de Humo, primera orientación científica de la Química Agrícola. En él se encuentran indicaciones de la formación del humus durante la descomposición del material vegetal y algunas de sus propiedades, como la naturaleza hidrofílica y la capacidad de adsorber nutrientes.

El descubrimiento del oxígeno por Priestly puede considerarse como el punto de partida de otros numerosos descubrimientos. Entre estos destacan los realizados por J. Ingen-Housz (1730-1799), demostró que la luz solar era necesaria para la producción de oxígeno que solamente las hojas y pecíolos podían sintetizar y finalmente que los frutos y las plantas en la oscuridad respiraban como los animales.

Estas conclusiones fueron también obtenidas por Senebier en Ginebra, sus estudios simultáneos sobre el problema opuesto, el efecto del aire sobre la planta.

Para apreciar la naturaleza radical de la evolución de la química que tuvo lugar en el siglo XIX, basta citar a T. De Saussure, quien fue capaz de demostrar que las plantas podían absorber dióxido de carbono y desprender oxígeno en presencia de la luz. También dedujo que el suelo suministraba sólo una pequeña cantidad de los alimentos que necesitaban las plantas, basándose en los resultados obtenidos del análisis de sus cenizas, entre otros, el mérito fundamental de este investigador fue el haber iniciado y desarrollado el método experimental cuantitativo que sirvió de base a los posteriores trabajos y que hizo posible el desarrollo de la Química Agrícola Moderna.

Boussingault, quien comenzó sus célebres experimentos de campo en su granja de Alsacia, históricamente las primeras en ese sentido.

Liebig, quien debido a sus contribución al avance de la agricultura que fue reconocido como el padre de la Química Agrícola, debido a sus afirmaciones: Él decía que la mayor parte del carbono de las plantas procede del dióxido de carbono de la atmósfera, pero la aportación de humus al suelo debido a la continua producción de dióxido de carbono, puede ser una fuente para la incorporación de este compuesto a la planta a través de las raíces, también decía que el hidrógeno y el oxígeno provienen del agua y que los metales alcalinos son necesarios para la neutralización de los ácidos formados en las plantas como resultado de sus actividades metabólicas, además que los fosfatos son necesarios para la formación de las semillas y que las plantas absorben sin discriminación los materiales del suelo, pero eliminan por sus raíces aquellos que no les son necesarios, indudablemente no todas sus afirmaciones eran correctas, pero su contribución fue enorme para el avance de la agricultura<sup>(3)</sup>.

Lawes y Gilbert, en 1843 crean una estación experimental en Inglaterra, para iniciar una amplia investigación para comprobar algunas afirmaciones incorrectas de Liebig, doce años después establecieron los siguientes principios:

1. Los Cultivos requieren fósforo y potasio, pero la composición de los residuos de las plantas es una medida de las cantidades requeridas de dichos elementos.

2. Las plantas no leguminosas precisan de un suplementos de nitrógeno, siendo igualmente beneficiosos, los nitratos y las sales amónicas. Sin este elemento no se puede conseguir ningún aumento de crecimiento, aún cuando se añadan los constituyentes de las cenizas. La cantidad de nitrógeno amoniacal suministrado por la atmósfera es insuficiente para las necesidades de los cultivos.

3. La fertilidad del suelo puede ser mantenida durante algunos años con el empleo de fertilizantes químicos.

En 1856, Salm-Horstmar, saco como consecuencia que el fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, y silicio eran los elementos que debían considerarse esenciales para el crecimiento de la planta.

También por esa época se establece la esencialidad del hierro por J. Sachs (1860), en este tiempo se generalizó la opinión de que el hierro formaba parte de la clorofila al estimar que en el caso de las plantas existía, como en los animales, una relación hierro-pigmento.

En 1879, el francés G. Ville, llega incluso más lejos que Lawes y Gilbert, sosteniendo que los abonos artificiales eran más remuneradores que el estiércol e incluso constituían el único medio para mantener e incrementar la fertilidad<sup>(3)</sup>.

En cuanto al aparente misterio de la absorción del nitrógeno, en las plantas leguminosas y en algunas no leguminosas, la experimentación realizada por H. Hellriegel y H. Wilfarth, en 1886, demostró que aquella estaba condicionada por las bacterias contenidas en los nódulos de las raíces, estas asimilaban el nitrógeno, que era posteriormente aportado a la planta. Se debe a M.W. Beijerinck el aislamiento del microorganismo, denominado entonces *Bacillus radicícola* y que en la actualidad se conoce como *Rhizobium*<sup>(3)</sup>.

La química agrícola se ha dedicado al estudio de la química del suelo y de la planta y

también a estudios relacionados con la fijación de fertilizantes en el medio nutritivo, su absorción por las plantas y la aplicación de nuevos productos; de los que son ejemplos representativos los quelatos y abonos micro nutrientes; la síntesis de productos de acción hormonal y otras sustancias de acción fisioterapéutica. La producción, formulación y aplicación de fertilizantes, insecticidas, herbicidas, funguicidas y aditivos diversos; la síntesis y utilización de productos íntimamente relacionados con las prácticas agrícolas, tenso activos, etc, también son parte importante de su campo de aplicación. Como todo campo que necesita desarrollarse, realiza simbiosis con otras ciencias: Biología y Física (3).

## **3.2 FERTILIZACIÓN**

### **3.2.1 DEFINICIÓN**

---

Según el diccionario de la Real Academia Española, los fertilizantes son sustancias que aumentan la fecundidad de las tierras, mediante el uso de nutrientes; los cuales son elementos requeridos para el normal funcionamiento y desarrollo de las plantas <sup>(6)</sup>.

La fertilización es hoy un factor fundamental para el aumento de la producción y para reponer parte de los nutrientes que, año tras año, pierden nuestros suelos como resultado de la utilización de sistemas agrícolas de producción intensiva. Para cumplir este objetivo desde el punto de vista de la nutrición de las plantas es necesario llevar un programa de fertilización completa y balanceada y esto significa suministrarle al cultivo los nutrientes mayores: en la cantidad y forma apropiada para que las plantas puedan desarrollar su máximo potencial.

Pero también significa asegurar que el cultivo disponga en igual forma de otros nutrientes llamados secundarios (Azufre, magnesio y calcio) y los llamados menores o micronutrientes (zinc, hierro, manganeso, boro, molibdeno y cobre) <sup>(1)</sup>.

### **3.2.2. NUTRIENTES**

---

Es toda sustancia integrante normal de los alimentos, cada uno de ellos con características químicas específicas. También se define como toda sustancia integrante de la planta, cuya ausencia en el metabolismo o su disminución por debajo de un límite mínimo, ocasiona después de un tiempo variable, una enfermedad por carencia <sup>(7)</sup>.

### **3.2.3. FERTILIZACIÓN EN EL SUELO**

---

La fertilización del suelo se realiza con el objeto de reponer los nutrientes extraídos de este por la planta, la misma que necesita tomar de los suelos los elementos que les son indispensables en proporciones adecuadas para lograr su normal desarrollo. Cuando a

un suelo le falta o tiene en proporción insuficiente, algún elemento esencial, la producción disminuye. La carencia de un elemento puede ser corregida, en muchos casos, por simple adición al suelo de compuestos que contengan dicho elemento; es decir, por adición de fertilizantes <sup>(1)</sup>.

Es de fundamental importancia un estudio previo de los suelos a través del análisis de los mismos, con cuyo resultado se podrán tener informaciones más precisas de las condiciones reales de dichos suelos, tanto en lo referente a la disponibilidad de nutrientes como a las condiciones químicas que favorecen o afectan dicha disponibilidad <sup>(1)</sup>.

### **3.2.4. FERTILIZACIÓN FOLIAR**

---

La fertilización foliar es una técnica de nutrición instantánea, que aporta elementos esenciales a los cultivos, mediante la pulverización de soluciones diluidas aplicadas directamente sobre las hojas.

La fertilización foliar soluciona problemas de deficiencias de nutrientes en forma instantánea y en los momentos críticos, donde los requerimientos del cultivo son superiores a su capacidad de absorción desde el suelo.

La fertilización foliar es complementaria de la fertilización al suelo, utilizándose en cultivos de alta producción, en los momentos críticos y en situaciones donde la absorción no cubre los requerimientos del cultivo, o las condiciones climáticas no permiten la descomposición del fertilizante del suelo a formas asimilables <sup>(9)</sup>.

Ventajas de la fertilización foliar:

- Nutre al cultivo en momentos críticos.
- Soluciona deficiencias de micronutrientes.
- Aporta nutrientes a los cultivos en condiciones de inmovilización temporal en el suelo.
- Se independiza de las condiciones ambientales de la disolución y transformación de los fertilizantes en el suelo.
- Alta eficiencia de absorción de nutrientes.
- No hay pérdidas por lixiviación y/o volatilización.

### **3.2.5. FACTORES INFLUYENTES EN LA ABSORCIÓN DE LOS DE LOS NUTRIENTES**

---

Un amplio número de factores influye grandemente en la absorción de los elementos nutrientes por la planta y en consecuencia en su composición posterior. Todos ellos están íntimamente relacionados entre sí y pueden clasificarse en tres grupos, según su relación con el suelo, con la planta o con las condiciones climáticas.

#### **3.2.5.1. RELACIONADOS CON EL SUELO**

**a) Textura.**

Los suelos de textura fina presentarán, debido a la gran superficie de sus partículas constituyentes, mayores posibilidades de contacto con los pelos absorbentes que los de textura gruesa. En otro aspecto también, una mayor facilidad de actuación de los agentes de alteración con liberación de nutrientes asimilables a la disolución del suelo o al complejo adsorbente coloidal.

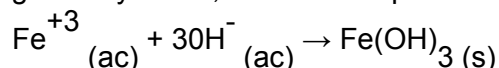
**b) Porcentaje de oxígeno en el aire del suelo.**

La absorción mineral se inhibe por la ausencia de oxígeno en el aire del suelo. Por ello, no sólo es importante un porcentaje adecuado de oxígeno, sino también lo es la proporción en la que se difunde para mantener una conveniente presión parcial en la superficie de la raíz. A medida que la atmósfera se enriquece en oxígeno, la absorción aumenta, al igual que la respiración.

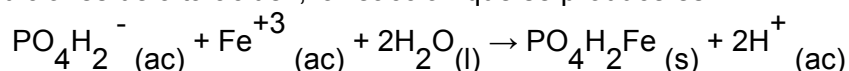
Las intensidades máximas de absorción varían según la planta, y son fiel reflejo de su adaptación al medio. En general, las raíces no empiezan a reducir su absorción hasta valores inferiores del 10% de oxígeno en el medio. En el arroz, al desarrollarse en condiciones de completa inmersión en el suelo, el valor anterior viene a ser del 3% <sup>(3)</sup>.

**c) pH del suelo.**

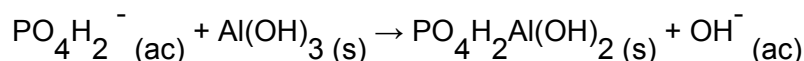
La reacción del suelo afecta generalmente a la absorción por su influencia en el estado de asimilación del nutriente, o en la cantidad del mismo disponible. Los casos más representativos de esta influencia son: bloqueo o inhibición, precipitación recíproca y volatilización. El bloqueo se produce a determinados valores de pH, en los que el elemento, debido a sus características físico-químicas se transforma en inasimilable al pasar a formar parte de un compuesto insoluble. Este es el caso, por ejemplo, del hierro, manganeso y cobre, los cuales a pH básico precipitan, originando hidróxidos insolubles:



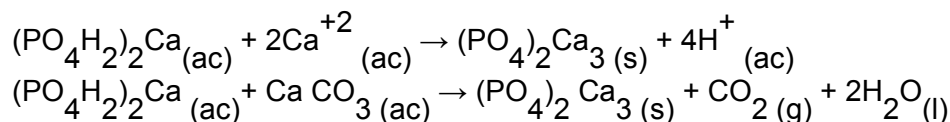
La precipitación recíproca es un proceso químico de doble precipitación. Es la que se presenta en suelos ácidos, ricos en hierro o aluminio, en donde el fósforo soluble en estado de  $\text{PO}_4\text{H}_2^{-}$  precipita con  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Al}^{+3}$ , o con sus hidróxidos correspondientes. En condiciones de alta acidez, la reacción que se produce es:



Mientras que si las condiciones del suelo son de baja acidez, la reacción es:



O bien en suelos calizos, básicos, cuando se adicionan al suelo fertilizantes fosfatados solubles:



La volatilización se presenta específicamente en el nitrógeno. Cuando los fertilizantes amónicos se aplican a la superficie de suelos calizos y básicos la absorción del nutriente puede reducirse notablemente por pérdidas de amoníaco:



Menos directa, pero también digna de ser señalada, es la influencia sobre las actividades de los microorganismos del suelo. Algunas de estas pueden quedar, en determinadas condiciones de pH, inhibidas o paralizadas. Tal es el caso de la nitrificación a pH ácidos, lo cual origina una menor absorción del nutriente <sup>(3)</sup>.

#### d) Interacciones iónicas.

Los elementos nutritivos en estado de iones pueden ejercer los unos sobre los otros acciones que conducen a reducir o aumentar su absorción por la planta, mediante mecanismos no totalmente establecidos, de naturaleza fisicoquímica, química o biológica. Estas interacciones se conocen respectivamente como antagonismos y sinergismos.

Se dice que hay antagonismo entre dos iones "A" y "B" cuando manteniéndose constante "A", el otro "B" tiende a inhibir la absorción del primero si su concentración aumenta en el medio. El efecto llega a ser máximo cuando la concentración de "B" llega a ser mayor que la de "A".

Los principales antagonismos que se presentan en la nutrición de las plantas cultivadas se observan entre sodio/calcio, potasio/calcio, potasio/magnesio y calcio/magnesio. Un ejemplo del antagonismo potasio/calcio y potasio/magnesio se puede observar en la figura 9.4. Los datos representados corresponden a una experiencia realizada sobre maíz, utilizando disoluciones nutritivas. El sinergismo se puede definir como la acción excitante que produce un elemento "A" sobre la absorción de otro "S", contribuyendo ambos a favorecer o aumentar el desarrollo de la planta <sup>(3)</sup>.

Un ejemplo que pone claramente de manifiesto este efecto se muestra en la figura 1. Los datos representados en este caso corresponden a una experiencia de campo con espinacas.

Como puede observarse, al añadir mayor cantidad de fertilizante nitrogenado, más debe elevarse la cantidad de potasio. Se puede ver también que en ausencia de fertilizante nitrogenado los rendimientos son menores, aunque las dosis de nitrógeno sean más elevadas.

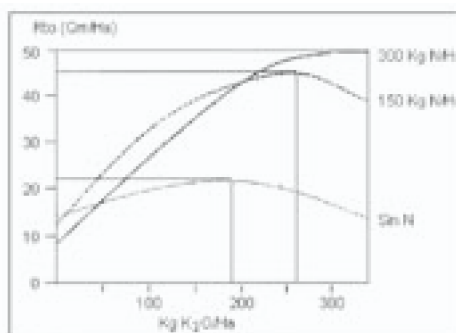


FIGURA 1. Sinergismo N/K en espinacas (A. Anstett. 1961)

#### 3.2.5.2 RELACIONADOS CON LA PLANTA.

#### **a) Naturaleza de la planta.**

Las plantas difieren unas de otras en su poder de absorción. Plantas distintas cultivadas en un mismo suelo pueden tener una alimentación mineral diferente, tanto bajo el punto de vista cualitativo como cuantitativo e incluso variedades distintas de una misma especie vegetal no actúa del mismo modo <sup>(3)</sup>.

El análisis de cultivos asociados de leguminosas y gramíneas, por ejemplo, pone de manifiesto que las leguminosas son siempre más ricas en nitrógeno, calcio y magnesio, mientras que las gramíneas absorben más fácilmente potasio. En el trigo está perfectamente demostrado que, con la misma productividad, los de primavera tienen exigencias superiores a los de otoño. y en el caso de la remolacha está comprobado que la azucarera, cuando se cultiva seleccionada, presenta unas menores necesidades de sustancias minerales para la elaboración de 100 Kg. de azúcar.

#### **b) Fase de desarrollo.**

Las plantas jóvenes absorben rápida e intensamente los elementos minerales. Su proporción, referida a materia seca, es entonces máxima, después disminuye aunque la absorción prosigue durante el crecimiento, debido al predominio creciente de los glúcidos que se van sintetizando.

Las plantas jóvenes suelen ser por ello corrientemente utilizadas para determinar los elementos asimilables del suelo, y para la caracterización de las deficiencias minerales que, generalmente, pueden presentarse en los cultivos.

### **3.2.5.3 RELACIONADOS CON LAS CONDICIONES CLIMATICAS.**

#### **a) Temperatura**

En general, dentro de los límites fisiológicos (0-40°C), un aumento de la temperatura provoca una mayor absorción de iones. Ello puede atribuirse, entre otras causas, a que la disolución del suelo tiende a estar más concentrada. Sin embargo, cuando se superan los 40°C, la absorción se va paralizando, debido posiblemente a la deshidratación de las enzimas que intervienen directamente en el proceso, o bien porque se inhibe la síntesis de algún componente indispensable <sup>(3)</sup>.

Las temperaturas bajas, por el contrario, aparte de provocar una disminución en la solubilidad de los componentes de la disolución del suelo, dificultan muchas reacciones bioquímicas que intervienen en el transporte de los nutrientes hacia el interior de las plantas.

#### **b) Humedad**

La absorción mineral se incrementa al aumentar, dentro de unos límites, la humedad del suelo. Hay que tener en cuenta que el agua es requerida por la planta para la producción de glúcidos, para mantener la hidratación del protoplasma y como vehículo para el traslado de los nutrientes absorbidos por la raíz. Estos procesos tienden a reducirse al disminuir la humedad del suelo, y ello explica, aparte de la lixiviación, el mayor agotamiento de las reservas del suelo en climas húmedos.

#### **c) Luz**



La luz no tiene sobre la nutrición mineral más que un efecto indirecto. Un aumento de la iluminación produce un incremento de las reservas carbonadas y de la transpiración. Por consiguiente, tiende a favorecer<sup>(3)</sup>.

### 3.3 TIPOS DE NUTRIENTES

En el agro, está demostrado y admitido, que los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas son veinte, de los cuales dieciséis son esenciales para todas, y cuatro esenciales sólo para algunas (Tabla 1). Todos estos elementos desempeñan funciones muy importantes en la vida de la planta y cuando están presentes en cantidades insuficientes alteran y reducen notablemente su crecimiento<sup>(20)</sup>.

TABLA N° 1

NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS			
PARA TODAS		PARA ALGUNAS	
En cantidades relativamente grandes		En cantidades relativamente pequeñas	En cantidades relativamente pequeñas
Extraídos por lo general del aire, en forma de CO <sub>2</sub> , o del agua del suelo.	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo
1. Carbono	4. Nitrógeno	10. Hierro	17. Sodio
2. Hidrógeno	5. Fósforo	11. Manganeseo	18. Silicio
3. Oxígeno	6. Potasio	12. Boro	19. Cobalto
	7. Calcio	13. Molibdeno	20. Vanadio
	8. Magnesio	14. Cobre	
	9. Azufre	15. Cinc	
		16. Cloro	

Además de los 20 elementos, se consideran también necesarios la presencia del rubidio, estroncio, aluminio y bario, aunque no son considerados como esenciales, pero se aceptan hoy en día como beneficiosos para el desarrollo de determinados cultivos, ya que estimulan la absorción o transporte de otros elementos esenciales que se encuentran en proporción limitada o bien inhibir la absorción de otros que se encuentran en exceso.

De los elementos esenciales para todas las plantas, extraídos del suelo, seis, son requeridos relativamente en grandes cantidades y son el: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio y se denominan MACRONUTRIENTES o elementos primarios. La escasez de ellos en el suelo afecta el crecimiento de las plantas, estos macronutrientes son asimilados muy lentamente porque mantienen un equilibrio adecuado con los otros elementos esenciales.

Los otros elementos como: hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno y cloro,

son utilizados por las plantas superiores en muy pequeñas cantidades y son denominados MICRONUTRIENTES elementos vestigiales, trazas, raros, menores, y mas corrientemente oligoelementos <sup>(3)</sup>.

### **3.3.1 MACRONUTRIENTES**

---

#### **3.3.1.1 NITRÓGENO**

##### **a) Contenido en el Suelo**

El contenido de nitrógeno del suelo varía entre límites bastante amplios, entre 0,01 y 0,5% y a veces más.

La transformación del nitrógeno molecular atmosférico en nitrógeno del suelo asimilable se realiza por dos procesos:

1 El nitrógeno puede oxidarse y pasar a la forma de óxidos, por acción de descargas eléctricas, y estos compuestos a su vez, trasladados al suelo por la lluvia y depositados en él como ácido nitroso o nítrico.

2) Fijación biológica: es captado de la atmósfera y es fijado por los microorganismos del suelo. Esta fijación da como resultado la formación de compuestos orgánicos, los cuáles pueden ingresar directamente en las plantas en el caso de las asociaciones simbióticas, o deben ser mineralizados para ser absorbidos por los cultivos.

##### **b) Movimiento en el Suelo**

El nitrógeno se caracteriza por su alta movilidad en el suelo y por tener distintas vías de pérdida. Por ejemplo: el nitrógeno presente en el grano es cosechado y retirado de la explotación, siendo una pérdida de nitrógeno de sus suelos. El uso de fertilizantes, la rotación con pasturas de leguminosas o la estercoladura son las únicas herramientas con las que cuenta el productor para mantener el sistema en equilibrio.

El nitrógeno sufre pérdidas debido principalmente a:

- Los Fertilizantes usados como fuente de nitrógeno sufren pérdidas por drenaje (Lavado)
- Fijación por rizobios en las raíces de leguminosas
- Pérdidas gaseosas (Volatilización)
- Bacterias fijadoras libres
- Desnitrificación (Microorganismos consumidores de  $\text{NO}_3^-$ )
- Precipitaciones Erosión
- Cosechas

##### **c) Función del nitrógeno en la planta**

Las plantas absorben la mayor parte del nitrógeno como iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y en menor proporción de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Las grandes funciones del nitrógeno en la planta

hay que considerarlas en base a su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo, la presencia del nitrógeno guarda una relación directa con la cantidad de hojas, tallos, brotes y macollos debido a que es necesario para la síntesis de clorofila y, por lo tanto, para el proceso de fotosíntesis. Además, forma parte de proteínas y vitaminas. En los cereales, el nitrógeno es determinante del contenido proteico de los granos.

#### **d) Síntomas de deficiencia y exceso**

Al estar involucrado en tantos procesos vitales su deficiencia afecta el crecimiento de la planta, la deficiencia se manifiesta por una vegetación raquítica, la planta se debilita, se desarrolla poco, las hojas permanecen pequeñas, adquieren una notable rigidez y toman un color verde amarillento, el pecíolo se acorta y las nerviaciones son mas pronunciadas, ya que el desarrollo de las partes succulentas se retrasa, en los casos de grave deficiencia las hojas toman una coloración anaranjada, púrpura o violáceo en los bordes y la floración es muy escasa. Debido a que el elemento es muy movable en las plantas, la deficiencia se acusa primero en las hojas mas viejas ya que hay un desplazamiento hacia las hojas mas jóvenes.

La vegetación deficiente de nitrógeno viene acompañada de una maduración acelerada del fruto y de una disminución del rendimiento. Esto cuando no se administran cantidades adecuadas de otros elementos nutritivos. En algunas especies de frutales, la superficie foliar disminuye notablemente, las yemas tardan en abrir, los brotes jóvenes no crecen y los frutos son pequeños y ácidos, aunque más coloreados.

En los agrios, los frutos suelen presentar un contenido mayor de fósforo, debido a que en condiciones de deficiencia de nitrógeno, el fósforo tiende a acumularse.

Cantidades excesivas originan plantas muy succulentas, con pocas partes leñosas, disminución muy marcada en el desarrollo de las raíces y con un amplio desarrollo aéreo. Las hojas toman un color verde muy oscuro y la maduración se retrasa. En muchos cereales alarga el período de crecimiento, lo que trae consigo un mayor contenido de paja en relación al grano. En los agrios, el exceso de nitrógeno produce fruto con piel gruesa, bajo porcentaje de jugo y poco contenido de vitamina C.

La abundancia de nitrógeno, deviene en crecimiento acelerado de la planta y por tanto rápida utilización de los otros elementos, que si no se encuentran en cantidades suficientes en forma asimilables, puede ocasionar deficiencias, así como mayor sensibilidad a las enfermedades y a las condiciones climatológicas, como sequías y heladas, al quedar los tejidos durante largo tiempo verdes y tiernos es mas fácil la penetración de esporas germinadas que una vez en su interior encuentren en los jugos ricos en nitrógeno una alimentación muy apropiada para su desarrollo.

Uno de los síntomas más comunes es el amarillamiento (clorosis) de las hojas por la disminución de la concentración de clorofila en las hojas más viejas. Las plantas producen una menor área foliar y ésta es fotosintéticamente menos activa, reduciéndose la capacidad del cultivo para captar la energía solar <sup>(3), (11) y (18)</sup>.

### **3.3.1.2 FÓSFORO**

Es un nutriente importante para el desarrollo de las raíces y se caracteriza por su poca solubilidad y por lo tanto es escasamente asimilable por los cultivos. Se caracteriza por ser muy poco móvil y por no tener una vía natural de reposición; lo que aumenta la importancia de la fertilización.

#### **DEFICIENCIA DE NITRÓGENO**



*Fig. 2. Amarillamiento de las hojas*



*Fig. 3. Hojas con inicio de deficiencia de nitrógeno*

##### **a) Contenido en el suelo**

La cantidad de fósforo total del suelo, expresada como  $P_2O_5$ , en raras ocasiones sobrepasa el valor del 0,5 % (1500 ppm ó 3360 Kg/Ha) y puede clasificarse, en general como inorgánico y orgánico.

El fósforo en el suelo se encuentra, en su mayor parte, en forma inorgánica. El fluorapatito y el hidroxipatito, minerales muy estables, se identifican frecuentemente en

la arena y el limo de los suelos muy lavados. Algunos suelos muy orgánicos pueden contener la mayoría de su fósforo formando parte de la materia orgánica. La cantidad que se encuentra en este estado disminuye rápidamente con la profundidad.

La mayor parte del fósforo normalmente presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad; y para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como  $\text{PO}_4\text{H}_2$  ó  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$  en la disolución del suelo. En consecuencia, el mantenimiento de una adecuada concentración de fósforo en éste será condición indispensable para que la planta adquiera el desarrollo satisfactorio.

#### **b) Movimiento en el suelo**

El movimiento del fósforo en el suelo está limitado a cortas distancias y es generalmente lento (más aún en condiciones de sequía). Esta baja movilidad hace que sea muy importante la ubicación del fertilizante, ya que debe quedar en contacto con la zona de exploración radical para facilitar su absorción por parte de las raíces. Esta poca movilidad del fósforo, permite que aquella fracción que no sea aprovechada por el cultivo fertilizado quede disponible para el siguiente.

#### **c) Función del fósforo en la planta**

El fósforo es necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, es fundamental para el crecimiento temprano de raíces y parte aérea. La fertilización con fósforo es clave, no sólo para restituir los niveles de este nutriente en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas, con mayor desarrollo de raíces y por lo tanto más resistentes a la falta de agua. Todo esto se traduce en marcados aumentos de los rendimientos, pues el fósforo interviene en procesos bioquímicos tales como: biogénesis de los glucósidos, biosíntesis de los lípidos, síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides y en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos.

#### **d) Síntomas de deficiencia y exceso**

Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radicular. Ello es consecuencia, tal como se ha visto, de que el elemento es un participante básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. Las características más específicas cuando existe deficiencia aparecen en las hojas, que se hacen más delgadas, erectas, de menor tamaño que las normales y con las nerviaciones poco pronunciadas. Debido a la elevada movilidad del fósforo en la planta y a causa de la tendencia que presentan las hojas jóvenes a obtener de las más viejas los elementos móviles en condiciones de deficiencia, las hojas antiguas son las primeras que muestran los síntomas. En los árboles frutales, las hojas tienden a tomar tonos pardos rojizos, se necrosan y se caen precozmente; la madurez del fruto se retrasa, con un aumento de la acidez y una producción disminuida. En la papa, la deficiencia provoca la aparición de manchas grises en la parte central y un sistema radicular notablemente reducido.

También está comprobado que el fósforo es necesario especialmente para la formación de semillas. En los cereales se observa una sensible disminución del número de espigas, un debilitamiento de sus cañas y una menor resistencia a las enfermedades y

daños por heladas.

Cuando hay falta de fósforo, la cosecha puede reducirse en un 50 %, presenta asimismo una relación estrecha con la producción de vitaminas.

Las alteraciones por exceso de fósforo se observan experimentalmente sólo en cultivos en medio líquido. En ciertos suelos enriquecidos fuertemente por aportaciones masivas y repetidas de fertilizantes fosforados solubles, son frecuentes clorosis férricas por la insolubilización que sufre el hierro ante dichos excesos <sup>(1)</sup> y <sup>(3)</sup>.

### **3.3.1.3 POTASIO**

#### **a) Contenido en el suelo**

A diferencia del fósforo, el potasio se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes, su contenido como  $K_2O$  varía entre 0,56 a 3% y depende de su textura.

El potasio presente en el suelo aparece por desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos. Los minerales que se consideran generalmente como fuentes originales de potasio son los feldespatos potásicos:  $Si_3O_8AlK$ , la moscovita:  $(SiO_4)_3H_2Al_3K$  y la biotita:  $(SiO_4)_3Al_2(MgFe)_2(HK)_2$ . La disponibilidad del potasio en estos minerales, aunque baja va en el orden de biotita>moscovita>feldespatos potásicos. También se halla en el suelo bajo la forma de otros minerales como la silvinita:  $ClK.ClNa$ , silvina:  $ClK$ , carnalita:  $ClK.Cl_2Mg.6H_2O$ , entre otros.

#### **DEFICIENCIA DE FÓSFORO**



*Fig.4. Enrojecimiento por deficiencia de fósforo*



*Fig. 5. hojas antiguas con el contorno pardo rojizo.*

#### **b) Movimiento en el suelo**

El potasio se encuentra en el suelo en forma de minerales primarios (feldespatos y micas) y mediante ciertas alteraciones se transforman en potasio cambiante, ligado a los coloides del suelo, sobre todo a las arcillas, en cuya fracción residen sus reservas. Este potasio se encuentra en equilibrio con el de la solución del suelo, de donde es absorbido por la planta.

La capacidad de reposición del potasio a la solución del suelo dependerá, por ello, del potasio de cambio y sobre todo de las reservas de potasio. Dicha capacidad es muy importante para asegurar la adecuada nutrición de la planta.

La movilidad del potasio en el suelo se realiza fundamentalmente por contacto radicular y, sobre todo, por el mecanismo de flujo de masas, ya que la succión que provoca la transpiración en la planta origina en el suelo un movimiento de agua hacia las raíces que arrastra también a la solución potásica.

#### **c) Función del potasio en la planta**

El potasio está implicado en la acumulación de hidratos de carbono y grasas en los frutos, así como en los procesos de transpiración, en el movimiento de agua en la planta y en la regulación de la apertura y cierre de los estomas.

La mayor demanda de potasio se produce a medida que se desarrollan los frutos, que acumulan grandes cantidades de este elemento durante el periodo de maduración, ocasionando deficiencias temporales de potasio, incluso en suelos relativamente bien provistos de este nutriente. El potasio interviene en procesos bioquímicos tales como: la fotosíntesis, economía hídrica, activación enzimática, síntesis de glúcidos y metabolismo del nitrógeno

#### **d) Síntomas de deficiencia y exceso**



Ya se ha indicado el carácter móvil del potasio en la planta. Por esta razón, cuando empieza a manifestarse en ella la deficiencia, el elemento que está almacenado en las hojas tiende a desplazarse a las más jóvenes para cubrir sus necesidades. Son las hojas viejas las que presentan los primeros signos visibles de la deficiencia.

Inicialmente, la falta de potasio origina un retraso general del crecimiento, que se hace sentir especialmente sobre los órganos de reserva: semillas frutos o tubérculos, órganos que deben formarse con el concurso de los glúcidos. Estos signos de deficiencia se observan netamente cuando su contenido en potasio es de 3 a 5 veces inferior al normal. Los tallos son más delgados, ya que todo el elemento es utilizado en el ápice vegetativo. Esta particularidad puede ocasionar en los cereales un debilitamiento y rotura del tallo, con las consiguientes pérdidas en grano.

Si el estado deficitario se agudiza, es en las hojas donde pueden apreciarse los síntomas más claros. Se inicia un moteado de manchas cloróticas y prosigue por el desarrollo de amplias necrosis en la punta y en los bordes. En muchos casos, las hojas tienden a curvarse hacia arriba, en forma de teja, enrollándose cada vez más a modo de cigarros, adquiriendo el árbol, o la planta en su conjunto, un aspecto como si se hubiera quemado.

Bajo el punto de vista agrícola, en cuanto a desarrollo, conservación y producción de cosecha, la deficiencia potásica origina, junto a una notable reducción de los órganos de reserva, como ya se ha indicado antes, falta de resistencia a las enfermedades criptogámicas; una prolongación del periodo vegetativo y retraso de la maduración de semillas, frutos notablemente ácidos, sin aroma y con fuerte coloración, menor resistencia al frío, tendencia al marchitamiento, retraso en el crecimiento radicular; y descenso general de los rendimientos <sup>(1), (3) y (21)</sup>.

#### **DEFICIENCIA DE POTASIO**



*Fig. 6. Hojas necrosadas en las puntas*



*Fig. 7. Hojas antiguas con el contorno pardo rojizo*

La absorción excesiva y su enriquecimiento hace disminuir la de otros, por ello el exceso origina comúnmente situaciones a deficiencias de magnesio, hierro y cinc.

### 3.3.1.4 AZUFRE

#### a) Contenido y Movimiento en el Suelo

El contenido medio de azufre en los suelos se calcula situado entre 0.02 y 0,05%, aunque los suelos de las regiones áridas pueden llegar hasta el 1%, especialmente en las capas superficiales y normalmente precipitado como sulfatos de calcio, magnesio, sodio, y potasio. En la mayor parte de los suelos cultivados se halla preferentemente bajo la forma orgánica y como sulfatos solubles en la disolución o adsorbido al complejo coloidal del suelo. Cuando los suelos son puestos en cultivo, la mayor rapidez de descomposición de la materia orgánica, la erosión, el aumento del lavado y la extracción por cosechas, tienden a originar una disminución del contenido de azufre. El azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ , a través de su sistema radicular. En pequeñas cantidades también puede ser absorbido del suelo como  $\text{SO}_3^-$  y de la atmósfera como dióxido de azufre, por las hojas, a través de los estomas.

#### b) Función en la planta

Son muchos e importantes los procesos bioquímicos en lo que participan los compuestos orgánicos con azufre anteriormente reseñados. Esta participación, ya puesta de manifiesto en la biosíntesis de lípidos, clorofilas, carotenos y ácidos orgánicos puede complementarse incluyendo dos procesos también esenciales en el metabolismo vegetal: la biosíntesis de los aminoácidos sulfurados cisteína, cistina y metionina y la formación del la acetilcoenzima A, eslabón básico de conexión entre la glucólisis y el ciclo de krebs (1), (3) y (23).

#### c) Síntomas de deficiencia y exceso

En líneas generales, la deficiencia de azufre en la planta presenta una notable similitud con la del nitrógeno; retraso de crecimiento, clorosis uniforme de las hojas y tendencia a formar gradualmente coloración bronceada con necrosis en las puntas. A diferencia de la deficiencia de nitrógeno, las plantas deficientes en azufre presentan clorosis inicialmente en las hojas jóvenes.

Las alteraciones por exceso de sulfatos y por salinidad en general pueden observarse cuando el valor en hoja supera el 0,4%, expresado en azufre total, se manifiesta principalmente por clorosis y amarilleamientos, seguidos de neurosis, quemaduras en las hojas y enanismo de la planta (3).

### 3.3.1.5 CALCIO

#### a) Contenido y movimiento en el suelo

El calcio presente en suelo, procede de las rocas y de los minerales del suelo y su contenido total puede variar entre 0,1 y 0,2% mientras que en los calizos puede alcanzar hasta un 25%. Los compuestos que pueden señalarse como más importante son los carbonatos: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y diolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), en segundo lugar los fosfatos: fluorapatito ( $(3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3\text{F}_2\text{Ca})$ ), hidroxiapatito ( $(3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ), oxiapatito ( $((3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3\text{CaO}))$ ) y carbonatoapatito ( $(3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3\text{CO}_3\text{Ca})$ ) y finalmente el sulfato cálcico. En los suelos ácidos normalmente situados en zonas sometidas a un alta

pluviometría, el movimiento de este elemento es mas amplio, Se encuentra fundamentalmente adsorbido a los coloides en forma intercambiable y como minerales secundarios no descompuestos (1) y (3).

#### **DEFICIENCIA DE CALCIO**



*Fig. 8. Hojas necrosadas y enrolladas*



*Fig. 9. Hojas necrosadas en el contorno*

#### **b) Función en la Planta**

Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de actuar formando parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas. La protopectina está localizada en la lámina media y en la pared primaria celular. También es importante para el desarrollo de las raíces, otra función es la de regular la absorción de nitrógeno, actuar sobre la translocación de los hidratos de carbono y proteínas en el interior de la planta. También se ha visto que regula la absorción o contrarresta los efectos perjudiciales debidos al exceso o acumulación de otros elementos como el potasio, sodio o magnesio.

#### **c) Síntomas de deficiencia y exceso**

La deficiencia en general se manifiesta desde la germinación, provoca clorosis y detiene el desarrollo radicular, originándose raíces cortas, gruesas y con una coloración parda. Las hojas se arrollan, a veces con necrosis en los bordes. Los síntomas aparecen casi siempre en las hojas jóvenes y la planta en su conjunto disminuye su crecimiento.

El exceso de carbonato cálcico puede provocar deficiencia de potasio motivada por una insuficiente absorción de este, debido al antagonismo Ca-K, inducir a la clorosis férrica e inmovilizar el cinc, cobre y fósforo, provocando deficiencia de estos elementos (1), (3) y (18).

### **3.3.1.6 MAGNESIO**

#### **a) Contenido y movimiento en el suelo.**

El magnesio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y su contenido medio puede situarse en un 2,3%.

#### **DEFICIENCIA DE MAGNESIO**



*Fig. 10. Hojas con clorosis*



*Fig. 11. Hojas con clorosis*



*Fig. 12. Hoja con clorosis simétrico en el contorno*

En el suelo se encuentra como constituyente de numerosos minerales, mayoritariamente silicatos, algunos suelos contienen al magnesio como magnesita y dolomita, en los suelos de las regiones áridas o semiáridas pueden encontrarse notables



cantidades bajo la forma de sulfato. Debido a la descomposición de los minerales el magnesio pasa en parte al estado de sales solubles: cloruros, sulfatos, etc, y en este estado puede perderse por lixiviación, absorbido por los organismos del suelo, adsorbido o fijado por los coloides o reprecipitado como compuestos magnésicos secundarios.

#### **b) Función en la planta**

El magnesio es absorbido por la planta como  $Mg^{+2}$ , y en ella se halla normalmente un contenido total medio del orden de 0,5% en peso seco. En la planta el magnesio es un constituyente de la clorofila, pigmento esencial para que las plantas verdes puedan llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis.

#### **c) Síntomas de deficiencia y exceso**

Los síntomas más típicos aparecen en las hojas corrientemente en verano y se manifiestan en la clorosis en algunas zonas del limbo, dispuestas con cierta simetría respecto al nervio principal, los tejidos cloróticos necrosan con rapidez, los síntomas se manifiestan en las hojas mas viejas después en las mas jóvenes. En ambos casos pueden aparecer en ellas coloraciones púrpuras brillantes, las hojas alteradas se desprenden prematuramente quedando solo con hojas en las partes terminales en las ramas se denomina enfermedad del pincel.

Alteraciones por exceso de magnesio son poco conocidas pero deviene en síntomas concretos de necrosis, deformaciones en las hojas jóvenes y síntomas claros de daños a las raíces <sup>(1) y (3)</sup>.

### **3.3.2 MICRONUTRIENTES**

---

#### **3.3.2.1 DEFINICIÓN**

Son aquellos elementos (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl) indispensables para la nutrición de las plantas, son absorbidos en pequeñas cantidades pero que su falta provoca manifestaciones patológicas denominadas "enfermedades carenciales" <sup>(3) y (24)</sup>.

#### **3.3.2.2. TIPOS**

##### **a) HIERRO**

El hierro puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como  $Fe^{+2}$  o como quelatos de hierro. La forma  $Fe^{+3}$  es menos importante debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en muchos suelos. El contenido en la planta varía desde 25 a más de 250 ppm en peso seco, dependiendo de la parte y la especie de la planta.

El hierro interviene en muchos procesos vitales para la planta, debido a su tendencia de formar quelatos complejos y su aptitud para cambiar de valencia; formando parte de diversos sistemas enzimáticos, como un componente metálico específico de las enzimas

Su deficiencia se produce en los suelos calizos donde se bloquea produciendo clorosis, todos los vegetales deficientes en hierro muestran una sintomatología común



comienza con un amarilleamiento de las zonas foliares intervenales, cuando la enfermedad progresa las hojas se hacen más amarillas y en los casos muy graves se llega a la ausencia total de clorofila. Debido a su rápida conversión de hierro soluble a hierro insoluble no disponible para la planta se presentan pocos casos de toxicidad por exceso (3) y (25).

#### **DEFICIENCIA DE HIERRO**



*Fig. 13. clorosis con amarillamiento de hojas*



*Fig. 14. Amarillamiento en las zonas intervenales*

#### **b) MANGANESO**

El manganeso es absorbido por la planta bajo la forma de  $Mn^{+2}$  y como quelato, tanto por su sistema radicular como por las hojas directamente. El manganeso de los suelos es originado principalmente por la descomposición de las rocas ferromagnéticas. En la litosfera su contenido medio es de 1000 ppm, sin embargo al igual que el caso del hierro este contenido no puede considerarse como una indicación de su disponibilidad. El manganeso influye en la actividad de las enzimas, en numerosos procesos metabólicos como la fotosíntesis, glucólisis y metabolismo de ácidos grasos, también se le ha relacionado con la producción del ácido ascórbico en frutos cítricos.

Los primeros síntomas de la deficiencia de manganeso se observan en las hojas jóvenes, aparecen decoloraciones que van desde el verde pálido a amarillo, manchas cloróticas entre las nerviaciones. El exceso puede presentarse en suelos ácidos donde es altamente disponible, y se manifiestan en aparición de manchas marrones en las hojas (3).

#### **c. COBRE**

El contenido medio de cobre en las plantas oscila entre 2 y 30 ppm en peso seco. En la corteza terrestre el contenido medio de cobre puede situarse alrededor de 70 ppm, siendo los sulfuros los minerales más abundantes y la principal fuente suministradora del elemento al suelo, otras formas menos estables, son el óxido cuproso, el óxido cúprico y los carbonatos básicos y en mucha menor proporción los sulfatos, silicatos, fosfatos y cloruros.

Las funciones del cobre en la planta están asociadas a un gran número de enzimas,

ya sea como activador o formando parte de ellos como grupo prostético, debido a su capacidad de experimentar reducción reversibles le permite intervenir en procesos redox. Por ejemplo: interviene en la fisiología de la planta, en la biosíntesis de alcaloides, la fotosíntesis, etc.

#### **DEFICIENCIA DE MAGNESIO**



*Fig.15. Hojas intoxicadas con exceso de magnesio*



*Fig. 16 decoloración de hojas entre nerviaciones*

**DEFICIENCIA DE COBRE**



*Fig. 17. Deformación de hojas jóvenes**Fig. 18. Hojas con manchas pardas*

Su carencia se observa en la deformación y muerte de las hojas jóvenes, después de aparecer la clorosis, manchas pardas y necrosis en los bordes y ápice, las alteraciones en los frutos se caracterizan por la aparición de puntos y manchas mas o menos amplias con un color variable entre marrón-gris y negro. La toxicidad por exceso de cobre se incrementa en suelos ácidos y se manifiesta en las raíces que tienden a perder vigor, adquirir color oscuro a engrosarse <sup>(3)</sup>.

#### **d) ZINC**

El zinc es absorbido por la planta como  $Zn^{+2}$  o como quelato por vía radicular o foliar. En ella, su movilidad no es grande. El contenido medio de zinc en la litosfera se estima alrededor de los 80 ppm y procede de diversos minerales, principalmente silicatos, sulfuros, óxidos y carbonatos, su absorción por las plantas dependerá de la textura y composición del suelo y el pH.

Actúa como catalizador en la formación de las auxinas de crecimiento, en el metabolismo nitrogenado y en la glucólisis.

Su carencia se produce por un excesivo pH o un elevado nivel de fósforo en los

periodos fríos y húmedos, los síntomas de deficiencia comienzan siempre en las hojas jóvenes, con amarilleamiento progresivo y disminución de tamaño, los nervios permanecen verdes.

#### **e) BORO**

El boro es absorbido por la planta en distintas formas del ácido bórico  $B_4O_7^{2-}$ ,  $BO_3^{-3}$ ,  $BO_3H^{-2}$  o  $BO_3H_2^{-}$ , bien mediante su aparato radicular o por vía foliar. La fuente principal de boro en el suelo es la turmalina, mineral completamente insoluble y muy resistente al humedecimiento, es un borosilicato que contiene 3% de boro y algunos metales, la liberación del boro bajo la forma de boratos es lentísima y no puede suministrar las cantidades que los cultivos requieren.

#### **DEFICIENCIA DE ZING**



*Fig. 19. Amarillamiento de hojas jóvenes*





*Fig. 20. Hojas con amarillamiento en el contorno*

**DEFICIENCIA EN BORO**



*Fig. 21. Hojas con crecimiento retardado*





*Fig. 22. Hojas con concentraciones de clorofila*



*Fig. 23. Frutos de fresa con deficiencia de boro*

Su absorción se puede bloquear por suelos muy secos o pH muy alto. El boro es esencial para la síntesis de los elementos de la pared celular, en la circulación de los azúcares dentro de la planta, participa también en la síntesis del almidón.

Los características de deficiencia se evidencian en una disminución del crecimiento, superficie foliar, concentración de la clorofila, entre otras <sup>(3)</sup>.

#### **f) MOLIBDENO**

El molibdeno es absorbido por la planta bajo la forma de  $\text{MO}_4^{-2}$ , su contenido en la planta esta entre 0,1 y 300 ppm en peso seco. El molibdeno del suelo procede de la descomposición de minerales de molibdeno: sulfuro de molibdeno, molibdato de plomo, molibdato cálcico, molibdato ferroso y polimolibdatos complejos. La mayor parte del molibdeno se encuentra no disponible para las plantas.

El principal papel fisiológico del molibdeno se fundamenta en el hecho de que es componente de dos enzimas que catalizan procesos importantes en la planta: nitrógeno y nitrato reductasa.

Los síntomas de la deficiencia de molibdeno están siempre relacionados con el metabolismo del nitrógeno, es corriente la clorosis ya sea parcialmente en forma de manchas marginales o alcanzando la totalidad de la hoja, varían de una especie a otra, pero por lo general aparecen primero en las hojas adultas y luego lentamente en la hojas jóvenes. La deficiencia de molibdeno se presenta frecuentemente en suelos ácidos, pero raramente se observa en los alcalinos <sup>(3)</sup>.

#### **g) CLORO**

El cloro es absorbido por la planta bajo la forma de  $\text{Cl}^-$ , no sólo por vía radicular, sino también por sus partes aéreas, sus requerimientos fisiológicos son bajos del orden de unas 5 ppm. En las plantas se encuentra en un rango de 2 a 20 mg de cloruro por gramo seco, posee una gran movilidad en la planta. El cloro bajo la forma de cloruro se encuentra en los suelos en cantidades que pueden variar dentro de un amplio margen entre 0 y 1000 Kg  $\text{Cl}^-/\text{Ha}$ . Ello depende de las sales solubles presentes particularmente cloruro sódico y en menor proporción cloruro cálcico y magnésico.

La función del cloro, en el momento actual no es perfectamente conocida, diversas investigaciones señalan que en cloroplastos aislados el cloruro es un cofactor esencial en la fotosíntesis, situando su lugar de actuación junto al  $\text{Mn}^{+2}$  en la fotólisis del agua, actúa también como neutralizador de cationes <sup>(3)</sup>.

### **3.3.2.3 QUELATACIÓN**

#### **3.3.2.3.1. DEFINICIÓN**

Un quelato puede ser definido como un compuesto, donde un nutriente metálico es ligado a un agente quelatante orgánico, que tiene la propiedad de estar disponible para la planta bajo condiciones adversas (por ejemplo pH, presencia de fósforo, aceites, etc), en las cuales los nutrientes metálicos normalmente formarían compuestos insolubles.

Los elementos micronutrientes en los formulados se aplican en forma de quelatos para que el metal sea absorbido rápidamente por las hojas (en su superficie) y también por las raíces y para hacer solubles a los metales cuando el fertilizante cae al suelo de cultivo y no es fijado por él. Si el quelatante es un compuesto orgánico hace que sea más

fácilmente asimilable por los tejidos vegetales <sup>(2)</sup>.

#### TOXICIDAD POR CLORO



*Fig. 24. Toxicidad de cloro en una planta*

#### 3.3.2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS QUELATOS

##### A. SEGÚN SU PODER ACOMPLEJANTE

Los agentes quelatantes se clasifican en <sup>(26)</sup>:

**a) FUERTES:** Ácido etilendiaminotetracético (EDTA), ácido hidroxietilendiaminotriacético (HEDTA), ácido dietilendiaminopentacético (DPTA), ácido nitrilotriacético (NTA) y ácido dihidroxietilendiamindiacético (EDDHA), etc

**b) MEDIOS:** Poliflavonoides, sulfonatos, ácidos húmicos y fúlvicos, aminoácidos, ácido glutámico, poli fosfatos, etc.

**c) DÉBILES:** Ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido tartárico, etc.

Entre mas fuerte sea un quelatante, más estable es la unión, por lo que se puede esperar mayor solubilidad del producto, mas eficiencia de aplicación y mejor absorción a través de la cutícula.

##### B. SEGÚN SU PROCESO DE FABRICACIÓN Y ESTABILIDAD

Los quelatos se pueden clasificar en cuatro categorías básicas:

##### a) QUELATOS QUÍMICOS O TOTALES

El metal esta 100% quelatado y protegido contra reacciones adversas. Entre ellos están los quelatos en EDTA (ácido etilendiaminotetracético), DPTA (ácido dietilendiaminopentacético) y HEDTA (ácido hidroxietilendiaminotriacético). Cuando se observa en la etiqueta que no contienen Azufre (S), son los quelatos mas eficientes y estables.

##### b) QUELATOS DÉBILES.

En este caso el metal no está totalmente protegido contra reacciones adversas, es decir, la mezcla se puede "cortar" fácilmente. Un ejemplo de esto son los gluconatos.

#### **c) QUELATOS PARCIALES O FÍSICOS**

En este caso, el metal no está totalmente quelatado. Prácticamente es una mezcla física de una sal inorgánica (por ejemplo sulfato) con un agente quelatante como EDTA. En este caso el metal solo llega a quelatarse entre un 10-50%. Se puede diferenciar de un quelato químico, porque en la etiqueta se puede observar que tiene Azufre (S) proveniente de la sal inorgánica de sulfato.

#### **d) COMPLEJOS ORGÁNICOS**

En este caso, el metal está atado a cadenas largas de aminoácidos, lignosulfonatos, poliflavonoides y ácidos fenólicos. Los complejos resultantes son tan grandes que difícilmente pueden ser absorbidos por los micro poros de las paredes celulares de las hojas, por lo que su eficiencia se regula al desdoblamiento de los complejos, lo cual puede ser un impedimento para la absorción rápida. Además, la cantidad de micro elementos suplido por esta vía puede ser muy baja.

### **3.4 FORMULACIONES COMERCIALES**

Un formulado fertilizantes contiene una o más sustancias activas junto con diluyentes y coadyuvantes y es de aplicación a las especies químicas y en ocasiones, a las biológicas.

En el mercado se presenta varios tipos de fertilizantes:

#### **3.4.1 FERTILIZANTES MINERALES CONVENCIONALES**

---

Son los más conocidos y usados, especialmente en agricultura. Se caracterizan porque se disuelven con facilidad en el suelo y por tanto las plantas disponen de esos nutrientes en pocos días después <sup>(6), (14) y (15)</sup>.

**a. Fertilizantes Nitrogenados.** Urea (45-0-0), nitrato amónico (33-0-0), sulfato amónico, nitrato potásico, nitrato cálcico, nitrato sódico, etc.

**b. Fertilizantes Fosfóricos.** Superfosfato, fosfato amónico entre otros.

**c. Fertilizantes Potásicos.** Cloruro potásico y sulfato potásico.

**d. Complejos binarios.** Llevan 2 de algunos de los macronutrientes: Nitrógeno, fósforo, potasio. Ejemplos: 35-15-0. Contiene un 35% de N y un 15% de  $P_2O_5$ . 13-0-44. Contiene un 13% de N y un 44% de  $K_2O$ . Y así: 15-62-0, etc.

**e. Complejos ternarios.** Llevan los tres macronutrientes expresados como: N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ . Ejemplos: 15-15-15, 12-12-20, 8-24-8, 20-10-5, 8-8-8, etc.

**f. Abonos líquidos y para fertirrigación.** Los fertilizantes formulados también se presentan en forma líquida en lugar de granulada para emplearse en fertirrigación, es

decir, disueltos en el agua de riego.

### 3.4.2 FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA

---

Se caracterizan porque se disuelven poco a poco y se encuentran en estado sólido en forma de gránulos, perlas, etc. y van liberando para las raíces los nutrientes lentamente en varios meses.

Esto se consigue por la propia formulación química o por recubrir los gránulos con una membrana que deja salir los minerales lentamente. Son más caros que los convencionales pero duran más.

### 3.4.3 FERTILIZANTES ORGANOMINERALES

---

Es una mezcla de materia orgánica con nutrientes minerales (Nitrógeno, Potasio, Magnesio, Manganeso, etc.). Vienen normalmente granulados. Ideales para realizar una fertilización completa en el abonado de fondo en todo tipo de cultivos.

### 3.4.4 FERTILIZANTES FOLIARES

---

El abono foliar se usa como complemento al abonado de fondo. Es muy interesante para aportar micronutrientes: Hierro, Manganeso, Cobre, etc., ya que se precisan en pequeñísimas cantidades y se asimilan directamente pulverizando sobre las hojas.

Actualmente en el mercado también existen formulados de fertilizantes foliarse conteniendo elementos nutritivos. La nutrición foliar proporciona los nutrientes requeridos para el normal crecimiento de las plantas en casos en que la absorción de los nutrientes del suelo se vean bloqueados, se usan durante los estados críticos del cultivo, incrementarán los rendimientos y la calidad de las cosechas.

### 3.4.5 CORRECTORES DE CARENCIAS

---

Son fertilizantes especialmente diseñados para corregir cualquier carencia concreta de un elemento o de varios a la vez que se pudiera presentar. Por ejemplo, si hay una carencia de Cobre, existe un producto rico en este elemento que lo corrige. Si la carencia es de varios a la vez también hay productos para ello.

Algunos, llamados "A+Z", llevan todos los microelementos que necesitan las plantas y cubren cualquier tipo de carencia de Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro y Molibdeno. Pueden ser aplicados vía foliar, en el agua de riego o incorporados al suelo (14) y (15).

### 3.4.6 FORMULACIONES SELECTIVAS

---

También existen formulaciones conteniendo abonos orgánicos y fertilizantes minerales.

Cualquier producto nutricional que encontremos en el comercio estará incluido en alguno de los tipos anteriores.

Los formulados selectivos pueden clasificarse en:

**a) BIOACTIVADORES**

Estos productos son poco conocidos y por tanto, poco usados en la agroindustria y son:

- Aminoácidos
- Extractos De Algas

Empleado más como alimento, tiene capacidad para vigorizar y estimular las plantas a que superen situaciones adversas como sequías, daños por heladas, trasplantes, transportes, plagas, enfermedades, efectos fitotóxicos de plaguicidas mal empleados o de herbicidas, etc.

Los tratamientos con aminoácidos o con extractos de algas permiten al cultivo recuperarse más rápidamente si está debilitado por haber sufrido alguna de esas circunstancias: una granizada, un stress hídrico, una helada, etc. Este es su mejor uso, para activar el metabolismo del vegetal. Es un complemento al abonado mineral correspondiente.

Normalmente se aplican por vía foliar, pero también al suelo, por vía radicular.

**b) ENMIENDAS MINERALES**

Para terminar, las enmiendas minerales. No son abonos. Se hacen para corregir el pH de un suelo o para mejorar suelos salinos. Si tu suelo tiene un pH demasiado bajo o demasiado alto o bien es salino, deberás aplicar alguno de estos productos. Son situaciones poco habituales, pero se dan <sup>(14)</sup> y <sup>(15)</sup>.

- Enmienda de azufre para bajar el pH del suelo.
- Enmienda de calcio para subir el pH del suelo.
- Enmienda de yeso o de azufre para corregir suelos salinos. Venden preparados ricos en Calcio y formulados para este fin.

## IV. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1. Diseño del Formulador Foliar

Diseñado de acuerdo a las recomendaciones técnicas de los ingenieros agrónomos para ser empleado en suelos del país y deben presentar las principales propiedades:

#### 4.1.1. Composición

---

TABLA N° 2

MACRONUTRIENTES	
Elemento	g/L
Nitrógeno (N)	40
Fósforo ( $P_2O_5$ )	220
Potasio ( $K_2O$ )	40
Magnesio (Mg)	0,373
MICRONUTRIENTES	
Elemento	g/L
Hierro (Fe)	0,221
Zinc (Zn)	0,340
Manganeso (Mn)	0,130
Cobre (Cu)	0,085
Boro (B)	0,015
Agua	c.s.p.

#### 4.1.2. Asimilación en la planta

---

1. Para actuar como componente básico en la formación de ATP, ADP, ADN, ARM y fosfolípidos indispensable para la formación de raicillas nuevas.
2. Para favorecer la formación de grasas y enzimas.
3. Para activar la maduración de la planta y es determinante en la calidad de los frutos.

## 4.2. Obtención Del Formulado Foliar

### Base del formulado: 1 Litro

Se preparó por separado, primero los macronutrientes en un vaso y luego en otro vaso los micronutrientes, finalmente se mezclan ambas preparaciones, se homogenizan y se completa a un litro.

#### 4.2.1 Obtención De Los Macronutrientes

---

##### a. Materiales Empleados

- Vasos de precipitados de 250, 600 y 2000 mL
- Agitador magnético
- Magnetos
- Balanza analítica
- Lunas de reloj



- Espátulas
- Probetas de 100, 250 y 500 mL
- Piceta

**b. Reactivos Empleados**

- 209 mL de ácido fosfórico al 85% p.a
- 59,3 g de carbonato de potasio p.a
- 440 mL de hidróxido de amonio al 25% p.a
- 2,86 g de hidróxido de magnesio al 31%
- Agua destilada

**c. Preparación**

- Se mezcló en un vaso de 2 Litros, 209 mL de ácido fosfórico al 85% diluido con 30 mL de agua destilada, se le adicionó 440 mL de hidróxido de amonio al 25%; luego se agitó cuidadosamente para homogenizar.
- A la solución principal se le adicionó 59,3 g de carbonato de potasio disperso en 20 mL de agua, agitando constantemente, una vez disuelto añadir 2,86 g. de hidróxido de magnesio
- Agitar vigorosamente hasta enfriar.

**4.2.2. Obtención de los Micronutrientes****a) Materiales Empleados**

- Vasos de precipitados de 250 mL
- Vasos de precipitados de 600 mL
- Agitador magnético
- Equipo de filtración al Vacío
- Magnetos
- Balanza analítica
- Lunas de reloj
- Espátulas
- Piceta

**b) Reactivos Empleados**

- 5,0 g de ácido cítrico p.a
- 2,0 g de sal disódica dihidrato del ácido etilendiamino tetracético p.a
- 0,015 g de di-sodio tetraborato decahidratado p.a

- 0,2 g de azul roa N°1
- 5,3 mL. de formol
- 0,87 g de  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  al 15%
- 1,06 g de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  al 38%
- 1,38 g de  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  al 18%
- 2,51 g. de  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  al 20%

#### **c. Preparación**

- En un vaso pirex de 250 mL conteniendo 100 mL de agua se mezclan 2,51g de hidróxido de zinc, 1,06g de hidróxido de hierro, 1,38 g de ácido manganoso, 0,87g de hidróxido de cobre con 5,0 g. de ácido cítrico, agitar hasta disolución total.
- Añadir luego 2,0 g de EDTA disuelto en un poco de agua destilada y agitar.

### **4.2.3. Formulación del Producto**

---

- Se mezclan en un vaso pirex de dos litros las soluciones de macronutrientes y las de micronutrientes.
- Se adiciona 0,015 g de bórax a la mezcla y se disuelve
- Se añade también 5,3 mL de formol.
- Por último se adiciona 0,2 g de colorante Azul Roa N°1.
- Llevar al volumen requerido (1 litro) con agua destilada.

## **4.3. Evaluación de las propiedades físicas**

- El pH de la solución obtenida fue de 5,2 y la  $\rho$  de  $1,2 \text{ g/cm}^3$
- Se realizó una evaluación en el tiempo para analizar la variación del pH y la densidad por 240 días, se efectuaron mediciones a los 7, 15, 30, 60, 120, 240 días.

## **4.4. Evaluación de la estabilidad**

- Se evaluó la estabilidad a tres temperaturas: 5, 20 y  $48^\circ \text{C}$  por 240 días con el fin de descartar una posible cristalización o cambio de color en el formulado. Para estas determinaciones se emplearon: una refrigeradora y una incubadora.

## 4.5. Pruebas de Campo

Se aplicaron dosis de fertilizante foliar en diferentes tipos de plantas, para observar el poder nutriente en plantas con deficiencias: chirimoya, paca, mango, higo, sábila, uva, rosas, granada, guanábana y camote.



## V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 5.1. Propiedades

Los resultados experimentales obtenidos del producto formulado a nivel de laboratorio son:

#### 5.1.1. Composición:

---

TABLA N° 3. Resultado del análisis de los nutrientes en el formulado en g/L

Parámetro	Método	Técnica <sup>(2)</sup>	Resultado g/L
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AOAC: Método 958.01	Colorimétrico	222
N	AOAC: Método 920.03	Kjeldahl	39
K <sub>2</sub> O	AOAC: Método 983.02	Emisión por Flama	41
Boro	-	Emisión por Flama	0,015
Mg	AOAC: Método 965.09	Absorción Atómica	0,376
Zn	AOAC: Método 965.09	Absorción Atómica	0,339
Fe	AOAC: Método 965.09	Absorción Atómica	0,216
Mn	AOAC: Método 965.09	Absorción Atómica	0,132
Cu	AOAC: Método 965.09	Absorción Atómica	0,085

<sup>(2)</sup> Los métodos analíticos se encuentran en el anexo

### 5.1.2. Propiedades Físicas:

TABLA N° 4. Evaluación del pH y Densidad

Día	Densidad (g/mL)	pH	Color
1	1,21	5,52	Azul
2	1,21	5,50	Azul
3	1,21	5,54	Azul
4	1,21	5,56	Azul
5	1,21	5,60	Azul
6	1,21	5,51	Azul
7	1,20	5,53	Azul
8	1,21	5,54	Azul
9	1,22	5,50	Azul
10	1,21	5,51	Azul
11	1,21	5,52	Azul
12	1,21	5,61	Azul
13	1,21	5,60	Azul
14	1,20	5,53	Azul
15	1,21	5,51	Azul
30	1,21	5,55	Azul
60	1,21	5,53	Azul
120	1,21	5,52	Azul
240	1,21	5,50	Azul

### 5.1.3. Propiedades de Estabilidad

Los resultados de las pruebas de estabilidad se encuentran detalladas en la tabla N° 5.

## 5.2. Evaluación estadística de los resultados

### 5.2.1. Variación del pH

Se muestran los datos de la evaluación estadística del pH en la tabla N° 6 y la gráfica de control de la variación del pH en la gráfica N° 1.

### 5.2.2. Variación de la Densidad

Se muestran los datos de la evaluación estadística de la densidad en la tabla N° 7 y la gráfica de control de la variación de la densidad en la gráfica N° 2.

**TABLA N° 5. Resultados de las pruebas de estabilidad**

TEMPERATURA	DÍAS	SOLUBILIDAD
5°C	7	Soluble
	15	Soluble
	30	Soluble
	60	Soluble
	120	Soluble
	240	Soluble
20°C	7	Soluble
	15	Soluble
	30	Soluble
	60	Soluble
	120	Soluble
	240	Soluble
48°C	7	Soluble
	15	Soluble
	30	Soluble
	60	Soluble
	120	Soluble
	240	Soluble

**TABLA N° 6. Evaluación Estadística del pH**

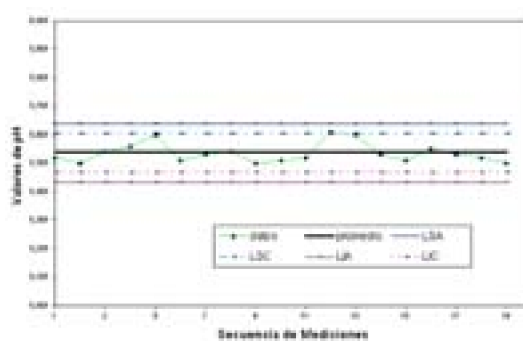
MEDICIÓN	RESULTADO	LSA	LSC	LIC	LIA	PROMEDIO
1	5,520	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
2	5,500	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
3	5,540	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
4	5,560	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
5	5,600	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
6	5,510	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
7	5,530	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
8	5,540	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
9	5,500	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
10	5,510	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
11	5,520	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
12	5,610	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
13	5,600	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
14	5,530	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
15	5,510	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
16	5,550	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
17	5,530	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
18	5,520	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540
19	5,500	5,639	5,605	5,467	5,433	5,540

LSA: Límite Superior de Advertencia (prom +(3 DE))

LSC: Límite Superior de Control (prom + (2 DE))

LIC: Límite Inferior de Control (prom – (2 DE))

LIA: Límite Inferior de Advertencia (prom – (3 DE))



GRAFICA 1: VARIACIÓN DEL PH

TABLA N° 7. Evaluación Estadística de la Densidad



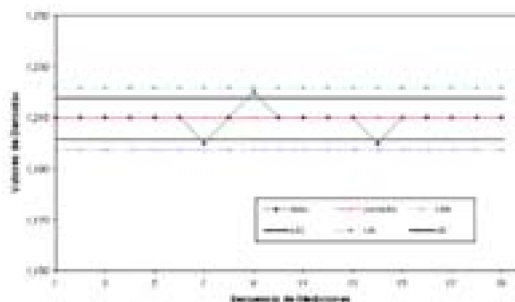
MEDICIÓN	RESULTADO g/cm <sup>3</sup>	LSA	LSC	LIC	LIA	PROMEDIO
1	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
2	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
3	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
4	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
5	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
6	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
7	1,200	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
8	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
9	1,220	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
10	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
11	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
12	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
13	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
14	1,200	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
15	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
16	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
17	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
18	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210
19	1,210	1,222	1,218	1,201	1,197	1,210

LSA: Límite Superior de Advertencia (prom +(3 DE))

LSC: Límite Superior de Control (prom + (2 DE))

LIC: Límite Inferior de Control (prom – (2 DE))

LIA: Límite Inferior de Advertencia (prom – (3 DE))



GRAFICA 2. CARTA DE CONTROL DE LA DENSIDAD

### 5.3. Pruebas de campo

A continuación se muestran los cambios producidos en algunas plantas luego de la aplicación del producto foliar.

**Dosis:**

0,2 mL/ m<sup>2</sup>

1-2 L/ha.

El producto se probó en campos ubicados en costa y sierra en 1 m<sup>2</sup> de cultivo mostrando una mejora respecto del resto, en el crecimiento de la planta, frondosidad de las hojas y maduración del fruto. En las Figuras 27-46, se muestran fotografías de plantaciones con deficiencias nutricionales y fotografías luego de la aplicación del producto.

## **5.4. Balance Estequiométrico**

### **5.4.1 Para los macronutrientes**

---

En las tablas: 8, 9, 10 y 11 se detalla el balance estequiométrico para los macronutrientes, considerando que los insumos tienen un valor ideal de 100% de pureza. Los cálculos considerando el porcentaje de pureza real, usado en la formulación, se detallan en la sección VI, ítem 6.1.

### **5.4.2 Para los Micronutrientes**

---

En las tablas: 12, 13, 14 y 15 se detalla el balance estequiométrico para los micronutrientes, considerando que los insumos tienen un valor ideal de 100% de pureza. Los cálculos considerando el porcentaje de pureza real, usada en la formulación, se detallan en la sección VI, ítem 6.1.

#### **HOJAS DE GUANÁBANA**



*Fig. 25. Hojas de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa deficiencia de nutrientes en la planta debida a la aparición de manchas pardas en el contorno de la hoja.



*Fig. 26. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante e observa una mejora general e el aspecto y crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE CHIRIMOYA**



*Fig. 27. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa demora en el crecimiento de la planta y la aparición de manchas pardas en las hojas.



*Fig. 28. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo e la aplicación del fertilizante se observa una mejora general n el aspecto y crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE PACAE**



*Fig. 29. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa la aparición de clorosis en las hojas y demora en el crecimiento de las mismas.



*Fig.30. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta y calidad del fruto respecto a otras cosechas.

#### **HOJAS DE HIGO**



*Fig. 31. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa amarillamiento de las hojas y la aparición de un color pardo rojizo en el contorno de las hojas antiguas.





*Fig. 32. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta y mejora de la calidad del fruto respecto a otras cosechas.

#### **HOJAS DE CAMOTE**



*Fig. 33. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa la aparición de clorosis en las hojas antiguas.



*Fig. 34. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto del crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE MANGO**





*Fig. 35. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*  
Se observa el enrojecimiento simétrico del contorno de la hoja.



*Fig. 36. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE GERANIO**



*Fig. 37. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Las hojas se observan hojas engrosadas.



*Fig. 38. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta y aparición de flores.

#### **HOJAS DE UVA**



*Fig. 39. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa la aparición de manchas pardas en el contorno de las hojas.



*Fig. 40. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE SABILA**



*Fig. 41. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa la aparición de manchas pardas en el contorno de las hojas.



*Fig. 42. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.*

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta.

#### **HOJAS DE LECHUGA**





*Fig. 43. Hojas antes de la aplicación del fertilizante foliar.*

Se observa la aparición de manchas pardas en el contorno de las hojas.



Fig. 44. Hojas después de la aplicación del fertilizante foliar.

Pasado un tiempo de la aplicación del fertilizante se observa una mejora general en el aspecto y crecimiento de la planta.

	$\text{H}_2\text{PO}_4(\text{ac}) + \text{NH}_4\text{OH}(\text{ac}) \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4(\text{ac}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$			
PM (g/mol)	97.994	35.0	115.02	18.02
W (g)	303.67	100.00	306.90	61.54
MOLES (mol)	3.10	2.86	2.66	2.86
MOLES USADAS	2.06	2.66	2.66	2.66
MOLES RESTANTES	0.24	-	-	-

TABLA N° 8. Balance estequiométrico de macronutrientes I.

	$3\text{H}_2\text{PO}_4(\text{ac}) + 3\text{H}_2\text{CO}_3(\text{ac}) \longrightarrow 3(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4(\text{ac}) + 3\text{H}_2\text{CO}_3(\text{ac}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$					
PM (g/mol)	97.994	114.104	115.02	100.144	44.009	18.015
W (g)	29.42	39.672	32.946	6.61	9.52	1.44
MOLES (mol)	0.06	0.27	0.06	0.06	0.06	0.06
MOLES USADAS	0.06	0.26	0.06	0.06	0.06	0.06
MOLES RESTANTES	-	0.01	-	-	-	-

TABLA N° 9. Balance estequiométrico de macronutrientes II



	$\text{K}_2\text{CO}_3 \text{ (ac)}$	$\rightleftharpoons$	$2 \text{K}^+ \text{ (ac)}$	$+ \text{CO}_3^{2-} \text{ (ac)}$
PM (g/mol)	138,20		$2 \times 39,01$	60,00
W (g)	26,76		20,20	15,8
MOLES (mol)	0,26		0,26	0,26
MOLES USADAS	0,26		0,26	0,26
MOLES RESTANTES	-		-	-

TABLA N° 10. Balance estequiométrico de macronutrientes III

	$\text{Mg(OH)}_2 \text{ (s)}$	$+ 2 \text{H}^+ \text{ (ac)}$	$\longrightarrow$	$\text{Mg}^{2+} \text{ (ac)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
PM (g/mol)	58,34	$2 \times 2,016$		24,31	$2 \times 18,015$
W (g)	0,888	0,030		0,370	0,548
MOLES (mol)	0,0152	0,0152		0,0152	0,0152
MOLES USADAS	0,0152	0,0152		0,0152	0,0152
MOLES RESTANTES	-	-		-	-

TABLA N° 11. Balance estequiométrico de micronutrientes (Magnesio)

	$\text{Cu(OH)}_2 \text{ (s)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{Cl (ac)}$	$\longrightarrow$	$\text{CuCl}_2 \text{ (ac)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
PM (g/mol)	97,55	$2 \times 152,06$		145,07	$2 \times 18,015$
W (g)	0,130	0,409		0,579	0,047
MOLES (mol)	0,0013	0,0013		0,0013	0,0013
MOLES USADAS	0,0013	0,0013		0,0013	0,0013
MOLES RESTANTES	-	-		-	-

TABLA N° 12. Balance estequiométrico de micronutrientes (Cobre)

	$\text{Fe(OH)}_3 \text{ (s)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{Cl (ac)}$	$\longrightarrow$	$(\text{Fe(OH)}_2\text{Cl})_2 \text{ (ac)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
PM (g/mol)	106,85	$2 \times 152,06$		454,97	$2 \times 18,015$
W (g)	0,492	1,600		4,50	0,387
MOLES (mol)	0,0038	0,0038		0,0038	0,0038
MOLES USADAS	0,0038	0,0038		0,0038	0,0038
MOLES RESTANTES	-	-		-	-

TABLA N° 13. Balance estequiométrico de micronutrientes (Hierro)

	$\text{MnO(OH)}_2 \text{ (s)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{Cl (ac)}$	$\longrightarrow$	$(\text{MnO(OH)}_2\text{Cl})_2 \text{ (ac)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
PM (g/mol)	104,94	$2 \times 152,06$		453,96	$2 \times 18,015$
W (g)	0,348	0,522		1,007	0,065
MOLES (mol)	0,0024	0,0024		0,0024	0,0024
MOLES USADAS	0,0024	0,0024		0,0024	0,0024
MOLES RESTANTES	-	-		-	-

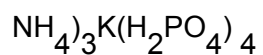
TABLA N° 14. Balance estequiométrico de micronutrientes (Manganeso)

	$\text{Zn(OH)}_2 \text{ (s)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{Cl (ac)}$	$\longrightarrow$	$\text{ZnCl}_2 \text{ (ac)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
PM (g/mol)	98,39	$2 \times 152,06$		147,51	$2 \times 18,015$
W (g)	0,500	1,599		2,282	0,104
MOLES (mol)	0,0051	0,0051		0,0051	0,0051
MOLES USADAS	0,0051	0,0051		0,0051	0,0051
MOLES RESTANTES	-	-		-	-

TABLA N° 15. Balance estequiométrico de micronutrientes (Zinc)

## 5.5 Fórmula empírica de los Macronutrientes

De acuerdo a los cálculos detallados en la sección VI, ítem 6.3 resulta la siguiente fórmula empírica referencial.:



## VI. EJEMPLOS DE CÁLCULO

### 6.1. Cálculo de la cantidad de insumos a utilizar para la fabricación de 1 litro de fertilizante.

#### 6.1.1 Para el Nitrógeno

---

Se parte del hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) al 25%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{NH}_4\text{OH}$ : 35,03 g/mol

Peso molecular del N: 14,01 g/mol

Densidad del  $\text{NH}_4\text{OH}$  al 25%: 0,91 g/ mL

Cantidad de Nitrógeno requerido en la formulación final: 40 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

$$\text{Gramos de insumo} = \frac{\text{CI} \times \text{PMI} \times V \times 100}{\text{PMN} \times \text{PP}} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

CI: Cantidad de insumo en g/L

PMI: Peso molecular de insumo en g/mol

PMN: Peso molecular de nutriente en g/mol

PP: Porcentaje de pureza del insumo

V: Volumen del formulado en litros

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{NH}_4\text{OH}$  = 400,0 g

Pero como se trata de un insumo líquido es más factible manejarlo por volumen, por tanto se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de Insumo} = \text{GI} / \rho \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

GI: Gramos de insumo

$\rho$ : Densidad del insumo

Reemplazando datos tenemos:

Volumen de  $\text{NH}_4\text{OH}$  = 439,6 mL

### 6.1.2 Para el Fósforo

---

Se parte del ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 85%

#### a. Datos:

Peso molecular del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ : 97,99 g/mol

Peso molecular del  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 141,94 g/mol

Densidad del  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 85%: 1,71 g/ mL

Cantidad de  $\text{P}_2\text{O}_5$  requerido en la formulación final: 220 g/L

Volumen del formulado: 1 L

#### b. Cálculos:

Reemplazando los datos en (1) y multiplicando por 2 (para igualar los átomos de fósforo), tenemos:

Gramos de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  = 357,4 g

Reemplazando datos en (2) tenemos:

---

Volumen de  $\text{H}_3\text{PO}_4 = 209,0 \text{ mL}$

### 6.1.3 Para el Potasio:

---

Se parte del carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) al 99%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{K}_2\text{CO}_3$ : 138,20 g/mol

Peso molecular del  $\text{K}_2\text{O}$ : 94,20 g/mol

Cantidad de  $\text{K}_2\text{O}$  requerido en la formulación final: 40 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{K}_2\text{CO}_3 = 59,3 \text{ g}$

### 6.1.4 Para el Magnesio

---

Se parte del Hidróxido de magnesio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) al 31%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ : 58,34 g/mol

Peso molecular del Mg: 24,31 g/mol

Cantidad de magnesio requerido en la formulación final: 0,370 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{Mg}(\text{OH})_2 = 2,86 \text{ g}$

### 6.1.5 Para el Hierro

---

Se parte del Hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) al 38%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ : 106,85 g/mol

Peso molecular del Fe: 55,85 g/mol

Cantidad de hierro requerido en la formulación final: 0,210 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{Fe}(\text{OH})_3 = 1,06 \text{ g}$

### 6.1.6 Para el Cobre

---

Se parte del Hidróxido de cobre ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) al 15%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ : 97,55 g/mol

Peso molecular del Cu: 63,55 g/mol

Cantidad de cobre requerido en la formulación final: 0,085 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{Cu}(\text{OH})_2 = 0,87 \text{ g}$

### 6.1.7 Para el Manganeso

---

Se parte del Hidróxido de manganeso ( $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ) al 18%

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ : 104,94 g/mol

Peso molecular del Mn: 54,94 g/mol

Cantidad de manganeso requerido en la formulación final: 0,130 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{MnO}(\text{OH})_2 = 1,38 \text{ g}$

### 6.1.8 Para el Zinc

---

Se parte del Hidróxido de zinc ( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ) al 20 %

**a. Datos:**

Peso molecular del  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ : 99,39 g/mol

Peso molecular del Zn: 65,39 g/mol

Cantidad de zinc requerido en la formulación final: 0,330 g/L

Volumen del formulado: 1 L

**b. Cálculos:**

Reemplazando los datos en (1) tenemos:

Gramos de  $\text{Zn(OH)}_2 = 2,51 \text{ g}$

## 6.2. Cálculo del número de moles en el equilibrio para los nutrientes

Para Calcular el número de moles, tenemos primero que balancear la ecuación estequiométrica y luego aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Nº de moles} = \frac{W \text{ (g)}}{\text{PM} \times \text{Cb}} \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

W: Masa del compuesto (g)

PM: Peso molecular del compuesto (g/mol)

Cb: Coeficiente del compuesto en la ecuación balanceada

Ejemplo:

Para el Hidróxido de Amonio en la tabla 10, tenemos los siguientes datos:

W: 100,09 g (considerando que el insumo esta en condiciones ideales de 100% de pureza)

PM: 35,03 g/mol

Cb: 1

Reemplazando estos datos en (3), tenemos:

Nº de moles = 2,86

De la misma manera se procede para los demás nutrientes.

## 6.3 Formula empírica de los macronutrientes

### 6.3.1 Determinación de los moles del ion amonio

$$40 \text{ g de N} \times \frac{\text{Peso Molecular del } \text{NH}_4^+ \text{ (g/mol)}}{\text{Peso Molecular del N (g/mol)}} \times 1 \text{ mol de } \text{NH}_4^+ = \text{moles de } \text{NH}_4^+$$

Datos:

Peso Molecular del  $\text{NH}_4^+$ : 18,007 g/mol

Peso Molecular del N: 14,007 g/mol

Reemplazando los datos en la fórmula anterior tenemos:

moles de  $\text{NH}_4^+$  = 2,86

### 6.3.2 Determinación de los moles del ion fosfato

---

$$\frac{220 \text{ g de } \text{P}_2\text{O}_5 \times \text{Peso Molecular del } (\text{H}_2\text{PO}_4)^- (\text{g/mol}) \times 1 \text{ mol de } (\text{H}_2\text{PO}_4)^-}{\text{Peso Molecular del } \text{P}_2\text{O}_5 (\text{g/mol}) \times 94,994 \text{ g } (\text{H}_2\text{PO}_4)^-} = \text{moles de } \text{H}_2\text{PO}_4^-$$

Datos:

Peso Molecular del  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 141,988 g/mol

Peso Molecular del  $\text{PO}_4^{3-}$ : 94,994 g/mol

Reemplazando los datos en la fórmula anterior tenemos:

moles de  $(\text{H}_2\text{PO}_4)^-$  = 3,10

### 6.3.3 Determinación de los moles del ion potasio

---

$$\frac{40 \text{ g de } \text{K}_2\text{O} \times \text{Peso Molecular del } \text{K}^+ (\text{g/mol}) \times 1 \text{ mol de } \text{K}^+}{\text{Peso Molecular del } \text{K}_2\text{O} (\text{g/mol}) \times 39,098 \text{ g } \text{K}^+} = \text{moles de K}^+ \dots\dots\dots (x)$$

Datos:

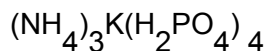
Peso Molecular del  $\text{K}_2\text{O}$ : 94,000 g/mol

Peso Molecular del  $\text{K}^+$ : 39,098 g/mol

Reemplazando en (x) los datos anteriores tenemos:

moles de  $\text{K}^+$  = 0,85

Luego se transforman las moles halladas a números enteros dividiendo cada valor por el más pequeño: 0,85; de ahí tenemos que la fórmula empírica es:

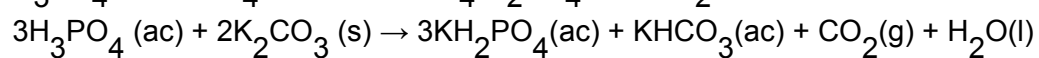
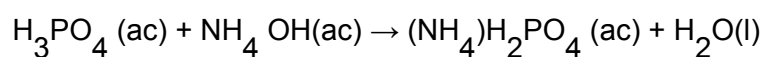




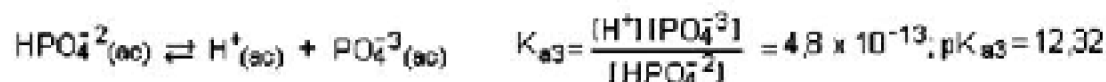
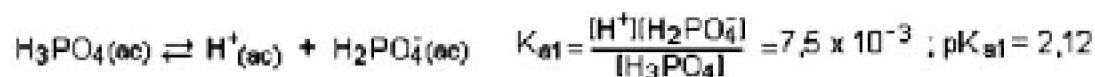
## VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1. Macronutrientes

Las reacciones químicas que ocurren en la formulación de los macronutrientes dan como resultado las siguientes sales:



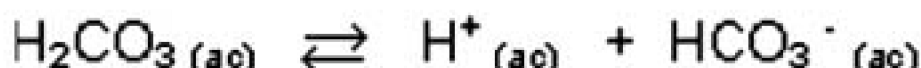
Estas reacciones son debido a la disociación del ácido fosfórico, poliprótico, con tres átomos ionizables de hidrógeno <sup>(5)</sup>:



Se puede apreciar que el ácido fosfórico es un ácido poliprótico débil y que sus constantes de ionización sucesivas disminuyen rápidamente; entonces, se puede predecir que, en una disolución que contenga ácido fosfórico, la concentración del ácido no ionizado es más grande y que las únicas especies presentes también en concentraciones significativas son los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Entonces tenemos que por el pK de cada etapa de ionización el más adecuado para el pH, del fertilizante formulado, es el primero.

El potasio se añade como carbonato, el anión carbonato es una base y como el pH del formulado es ácido (aproximadamente: 5,0), no se disocia completamente y el parte del carbonato queda como ión  $\text{HCO}_3^-$ .

Por tanto el equilibrio que predominaría en la formulación sería semejante a <sup>(5)</sup>:



$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4,2 \times 10^{-7} ; \text{p}K_{a1} = 6,38$$

Ahora tenemos que el pH es igual a:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log ([\text{base conjugada}] / [\text{ácido}])$$

Si las concentraciones molares del ácido y su base conjugada son aproximadamente iguales (condición de amortiguamiento), tendríamos que el pH de amortiguamiento  $\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$  sería:

$$\text{pH} \cong \text{p}K_a = 6,38$$

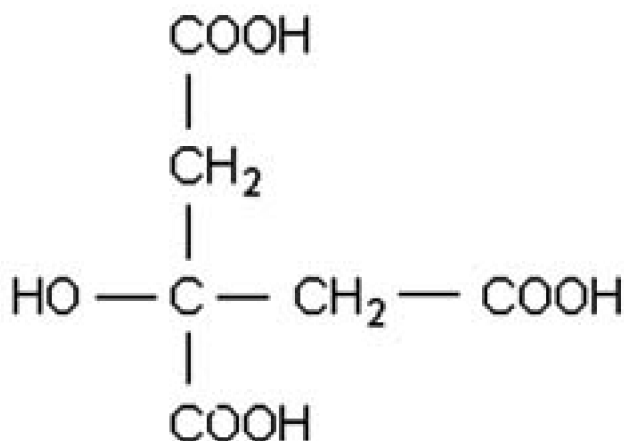
Ahora hay un concepto de amortiguación, el cual dice: “para que un amortiguador funcione adecuadamente, debe contener cantidades comparables de ácido y base conjugada”. Hay un intervalo de pH, muy limitado en que el amortiguador es más eficaz, este intervalo se llama a veces el intervalo de amortiguamiento, que es el intervalo de pH en que el amortiguador es eficaz, y se define por medio de la expresión:

$$\text{Intervalo de pH} = \text{pKa} \pm 1,00$$

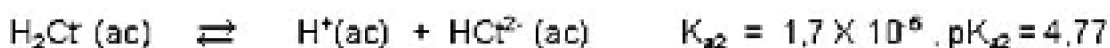
De acuerdo a la fórmula anterior, y con el dato del pKa: 6,38, tendríamos un intervalo de <5,38; 7,38>.

## 7.2 Micronutrientes

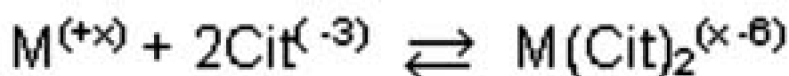
El ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , abreviado  $\text{H}_3\text{Ct}$ ), presenta la siguiente estructura:



El ácido cítrico es un ácido triprótico:



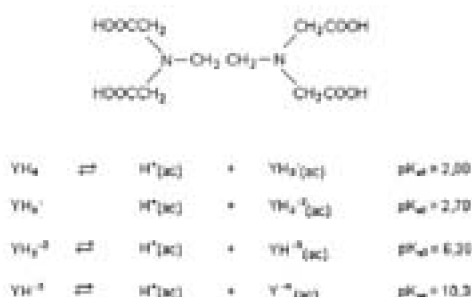
Los quelatos que formaría con los metales en disociación total, tendrían la forma estructural siguiente <sup>(5)</sup>:



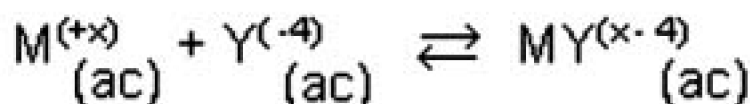
El ácido cítrico es un agente quelatante débil, por tanto es sensible a variaciones de

pH lo cual puede originar la conversión del quelato a la solución original y en el peor de los casos a la insolubilización del metal, para evitar esto se adicionó 2 gramos de EDTA, con lo que se asegura una total quelación de los micronutrientes.

El EDTA ( $C_{10}H_{18}O_8N_2$ , abreviado  $YH_4$ ), presenta la siguiente estructura:

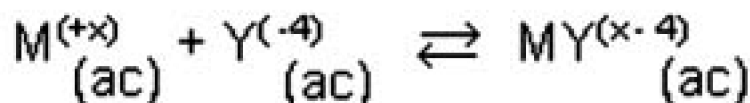


Los quelatos que formarían con los metales en disociación total, tendrían la forma estructural siguiente <sup>(2)</sup>:



El EDTA <sup>(25)</sup> no es enteramente satisfactorio como agente quelatante para el caso del hierro, aunque el quelato de ión férrico con EDTA es muy estable en soluciones moderadamente ácidas, en soluciones alcalinas es hidrolizado fácilmente a hidróxido férrico, por lo que es inefectivo en suelos calcáreos. De manera general se puede emplear si el pH está comprendido entre 1 y 7.

El EDDHA <sup>(7)</sup> que es poco efectivo como fuente de hierro en suelos ácidos, es uno de los quelatos más efectivos en suelos calcáreos. La principal desventaja del EDDHA como agente quelatante es su alto costo.



## 7.3 Evaluación de las propiedades físicas

La evaluación de propiedades físicas fue un éxito, pues no se observó variación significativa en el pH y la densidad del fertilizante, esto evidencia que la formulación es estable químicamente.

## 7.4 Evaluación de la estabilidad

La evaluación de la estabilidad a diferentes temperaturas (5, 20 y 48 °C), también resultó un éxito debido a que la formulación es estable y resistente a cambios de temperatura, lo cual permite su uso en cualquier tipo de clima del Perú, sin que se presenten problemas de insolubilización o cambio en la coloración del fertilizante.

## 7.5 Pruebas de campo

La prueba de campo resultó favorable, pues al juzgar por los resultados obtenidos, todas las plantas a las que se le aplicó el fertilizante por vía foliar, presentaron mejora en su aspecto y crecimiento con respecto al resto de las plantas a las que no se le aplicó el fertilizante.



## CONCLUSIONES

- El fertilizante obtenido se ha diseñado para las plantas peruanas.
- El fertilizante alcanzó una composición de: 39 g/L de N, 220 g/L  $P_2O_5$ , 41 g/L de  $K_2O$ , 0,015 g/L de B, 0,376 g/L de Mg, 0,339 g/L de Zn, 0,216 g/L de Fe, 0,132 g/L de Mn y 0,085 g/L de Cu.
- La fórmula empírica es:  $(NH_4)_3K(H_2PO_4)_4$
- La fertilización foliar es complementaria a problemas propios de la fertilización del suelo.
- Las pruebas de campo en: chirimoya, paca, mango, higo, sábila, uva, rosas, granada, guanábana y camote tienen buenos resultados
- La evaluación física fue favorable pues no se muestra mayor cambio en el tiempo, llegando a alcanzar una densidad promedio de: 1,21 g/cm<sup>3</sup> y un pH promedio de 5,54
- La evaluación de estabilidad a diferentes temperaturas (5, 20 y 48 °C) tuvo resultados positivos pues el fertilizante no presentó ninguna alteración en la solubilidad ni en la coloración.
- La adición de un fertilizante foliar rico en fósforo, con nitrógeno, potasio, magnesio y micronutrientes quelatados a plantas que presentan deficiente nutrición indicada por un análisis foliar, es vital para la obtención de buenas cosechas.
- En el formulado preparado en el laboratorio, no se adicionaron sales de sulfato porque dichas sales dan lugar a la insolubilización de los micronutrientes en el suelo, además

de producir contaminación en el agua a largo plazo por lixiviación.

- Los cationes empleados como micronutrientes son quelatados con un agente quelatante débil y requiere la adición de un agente quelatante complementario para asegurar la estabilidad.
- Los agricultores para una mejor identificación del producto, solicitan que las soluciones sean coloreadas; el colorante utilizado es el Azul Roa N°1, por su gran estabilidad a la luz y al pH del medio.
- El balance de masas alcanzó en promedio un 99% de eficiencia.



## RECOMENDACIONES

- Cuando se prepara la solución fertilizante NPK, se parte de ácido fosfórico al cual se le añade hidróxido de amonio y controlar que el pH no pase de 4, de esto depende la concentración de nitrógeno en el NPK, por esto se recomienda agitación constante cuando se incorpora el hidróxido de amonio.
- Cuando se adiciona carbonato de potasio al formulado dispersarlo antes en un poco en agua e incorporarlo de a pocos y con agitación constante para evitar pérdidas por proyección del formulado debido al desprendimiento de dióxido de carbono.
- Los productos foliares para su uso en el campo debe tener una hoja técnica donde se indique la composición, dosis de uso, tipos de plantas donde se utiliza y en que etapa de crecimiento se aplica, esta información es muy importante para el buen desarrollo y así no intoxicar a la planta por un exceso de fertilizante.
- Al realizar aplicaciones foliares se pueden utilizar coadyuvantes para asegurar una impregnación adecuada del fertilizante en las hojas y así obtener un mejor rendimiento en la aplicación.



---

# BIBLIOGRAFÍA

E. Primo Yúfera, J. M. Carrasco Dorrien. Química Agrícola I: Suelos y Fertilizantes. Editorial Alambra, Madrid, 1981, pág. 67, 93-96, 131-140, 168-174, 305, 335.

Stanley Chaberek, Arthur E. Martell. Organic Sequestering Agents. New York John Wiley & sons, INC., USA 1959, pág. 33-35, 94, 306-311, 455-465.

Simón Navarro Blaya, Gines Navarro García. Química Agrícola: El suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la vida Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona, México; 2000, pág. 1-10, 143, 155-164, 165-182, 183, 219-232, 233, 251-258, 259, 273-283, 295-302, 309-310, 314-318, 321-323, 330-336, 341-342, 352-353, 359-360, 365-368, 375-376, 380-382, 387-388, 395-396, 403-407, 413-415.

Humberto Rodríguez Fuentes, José Rodríguez Absi. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas. Editorial Trillas, México, primera edición 2002, pág. 9-10, 63, 84

Raymond Chang. Química. Editorial McGraw-Hill, México, primera edición 1992; pág. 52-54, 100, 121, 139, 680-683, 710-711.

Farm Chemicals Handbook '97. Meister Publishing Company, USA 1997 pág. B3, B15, B19, B21, B33-B40

Infoagro: [www.infoagro.com/abonos/abonos\\_y\\_fertilizantes3.asp](http://www.infoagro.com/abonos/abonos_y_fertilizantes3.asp) (Marzo 2005)

Agrohispana: [www.agrohispana.com/pregunta/firma.asp](http://www.agrohispana.com/pregunta/firma.asp) (Enero 2005)

Fertiberia: [www.fertiberia.com/informacion\\_fertilizacion/articulos/fertirrigacion/Preparacon\\_Disolucion](http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/fertirrigacion/Preparacon_Disolucion)

Infojardín: [http://www.infojardin.com/rosales/tipos\\_de\\_rosales.htm](http://www.infojardin.com/rosales/tipos_de_rosales.htm) (Diciembre 2004)

- José E. Marcano: [http://www.jmarcano.com/glosario/glosario\\_n.html](http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_n.html) (Junio 2005)
- Wanadoo: [http://html.rincondelvago.com/compuestos\\_formulacion.html](http://html.rincondelvago.com/compuestos_formulacion.html) (Enero 2005)
- Herogra: <http://www.herogra.net/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=33> (Noviembre 2004)
- Infojardín: [http://www.infojardin.com/articulos/Tipos\\_de\\_abonos\\_3.htm](http://www.infojardin.com/articulos/Tipos_de_abonos_3.htm) (Abril 2005)
- Infojardín: [http://www.infojardin.com/articulos/Tipos\\_de\\_abonos\\_2.htm](http://www.infojardin.com/articulos/Tipos_de_abonos_2.htm) (Abril 2005)
- Agrimartin:  
<http://www.agrimartin.com/Productos.htm#FERTILIZANTES%20FOLIARES> (Octubre 2004)
- Fertilizar:  
<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/agricultura/fertilizantes/ordenados-por-marcas.htm> (Junio 2005)
- Fertiberia:  
[http://www.fertiberia.com/servicios\\_on\\_line/cursos/fertilizantes/b2/s1.html?slide=1](http://www.fertiberia.com/servicios_on_line/cursos/fertilizantes/b2/s1.html?slide=1) (Marzo 2005)
- Agrohispana:  
[www.agrohispana.com/escuela/verdoc.asp?Documento=coln083&Id\\_Tema=103](http://www.agrohispana.com/escuela/verdoc.asp?Documento=coln083&Id_Tema=103) (Abril 2005)
- Fertiberia:  
[http://www.fertiberia.com/informacion\\_fertilizacion/articulos/otros/Libro\\_Blanco.html](http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/otros/Libro_Blanco.html) (Marzo 2005)
- Vidarural: <http://www.eumedia.es/articulos/vr/aceites/168abonadop.html> (Marzo 2005)
- UNALM: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin18.htm> (Marzo 2005)
- Monografías: [www.monografias.com/trabajos4/azufre/azufre.shtml](http://www.monografias.com/trabajos4/azufre/azufre.shtml) (Abril 2005)
- Infojardín: [www.infojardin.com/articulos/Nutrientes.htm](http://www.infojardin.com/articulos/Nutrientes.htm) (Abril 2005)
- Infoagro: <http://www.infoagro.com/abonos/quelatos.htm> (Abril 2005)
- Congreso: [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_XI/a50-6907-III\\_357.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_357.pdf) (Mayo 2005)

# ANEXOS

Consulta en formato impreso